

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار- عنابة

Faculté des Sciences de l'Ingénierat
Département de Génie Mécanique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Etude de la conformité des pipelines destinés aux hydrocarbures

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : GENIE MECANIQUE

Spécialité : MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE MECANIQUE

PAR : SOUELMY Akila

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Pr. Rabia KHELIF, U.B.M- Annaba

DEVANT LE JURY

PRESIDENT: R. KHELIF	Pr	U.B.M. Annaba
Membre : R. BOURENANE	MCA	U.B.M. Annaba
Membre : A. KALLOUCH	MAA	U.B.M. Annaba
Membre : S. BOUDECHICHE	MCB	U.B.M. Annaba

Année : 2017/2018

Remerciements

Pour commencer, je veux adresser mes sincères remerciements à mon directeur de mémoire, **Pr. KHELIF Rabia**, à l'Université Badji Mokhtar Annaba, pour sa grande disponibilité et pour le temps qu'il m'a consacré et ses encouragements tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Je tiens à remercier l'ensemble du personnel de TSS, pour leur patience, leurs conseils pleins de sens et pour le suivi et l'intérêt qu'ils ont portés à mes travaux.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à ma famille : Mes parents, ma tante et tous mes proches et amis, qui m'ont accompagné, aidé, soutenu et encouragé tout au long de la réalisation de ce mémoire.

RESUME

Les tubes utilisés pour le forage et l'exploitation pétrolière (pipelines) sont généralement conçus en aciers à résistance élevée. Les pipelines sont soumis à des contraintes cycliques qui peuvent provoquer leur rupture par fatigue. Outre les aspects financiers, celle-ci peut s'accompagner de graves dommages environnementaux. Pour assurer l'intégrité structurale et prévenir la rupture par fatigue, il est impératif d'adopter un critère de fatigue consistant.

Le but de notre travail est de comprendre tout d'abord le processus de fabrication de ces structures et d'arriver à maîtriser la conformité aux spécifications. Pour atteindre cet objectif, nous avons passé en revue la manière de les réaliser, les phénomènes de dégradation pouvant avoir lieu, les techniques d'inspection et de contrôle. Ensuite, nous avons démontré par calcul la capacité du processus et nous avons mis en place une démarche d'élaboration des cartes de contrôle. Ces cartes permettent d'anticiper les non conformités et ainsi maîtriser la stabilité du processus de fabrication des tubes. Egalement, nous avons proposé un plan de maintenance.

Mots clés : pipeline, essai, dégradation, maintenance

ملخص

الأنابيب المستخدمة في الحفر وإنتاج النفط (أنابيب) صممت عموماً من الفولاذ في مقاومة عالية. حيث تخضع هذه الأنابيب للإجهادات الدورية التي يمكن أن تسبب لهم انهيار بسبب التعب. وبصرف النظر عن الجوانب المالية، فإنه يمكن أن يكون مصحوباً بضرر بيئي خطير. فلضمان السلامة الهيكلية ومنع انهيار الأنابيب بسبب التعب، لا بد من اعتماد معيار للتعب.

والغرض من عملنا هو أن نفهم أولاً عملية تصنيع هذه الهياكل والتوصل إلى التوافق مع مواصفات السيطرة. ولتحقيق هذا الهدف، استعرضنا كيفية إجراء ظواهر التدهور، الفحص الفني والسيطرة عليها. بعد ذلك بينا حساب القدرة العملية ووضعنا مخططات الرقابة. هذه المخططات تمكننا من معرفة الأنابيب الغير مؤهلة وبالتالي السيطرة على استقرار عملية تصنيع الأنابيب و أيضاً، اقترحنا خطة صيانة.

كلمات البحث: خط أنابيب، تجربة، تدهور، صيانة.

ABSTRACT

Tubes used for drilling and petroleum (pipelines) are generally designed in high strength steels. The pipelines are subjected to cyclic stresses which can cause them to rupture due to fatigue. In addition to the financial aspects, this can be accompanied by serious environmental damage. To ensure structural integrity and prevent fatigue failure, it is imperative to adopt a consistent fatigue criterion.

The aim of our work is to first understand the manufacturing process of these structures and to arrive at mastering the conformity with the specifications. In order to achieve this objective, we have reviewed the way to achieve them, degradation phenomena, inspection and control techniques. Then, we demonstrated by calculation the capability of the process and we put in place a process of development of the control cards. These cards make it possible to anticipate nonconformities and thus to control the stability of the manufacturing process of the tubes. We also proposed a maintenance plan.

Keywords: pipeline, testing, degradation, maintenance.

Sommaire

Introduction générale :**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre I: Etat de l'art sur la conception, l'exploitation et la maintenance des pipelines en acier

I. Etat de l'art sur la conception, l'exploitation et la maintenance des pipelines en acier
.....**Erreur ! Signet non défini.**

I.1 Introduction :**Erreur ! Signet non défini.**

I.2 Les pipelines :**Erreur ! Signet non défini.**

I.3 Caractéristiques mécaniques des tubes :**Erreur ! Signet non défini.**

I.4 Les types d'inspections et les modes de dégradations des pipelines :**Erreur ! Signet non défini.**

I.4.1 Les modes de dégradations des pipelines :**Erreur ! Signet non défini.**

I.4.1.1 Défaillances mécaniques :**Erreur ! Signet non défini.**

I.4.1.2 Défaillance opérationnelle :**Erreur ! Signet non défini.**

I.4.1.3 Risque naturel :**Erreur ! Signet non défini.**

I.4.1.4 Dégradation par corrosion :**Erreur ! Signet non défini.**

I.4.1.5 La protection des pipelines :**Erreur ! Signet non défini.**

I.4.2 Les types d'inspections des pipelines :**Erreur ! Signet non défini.**

I.4.2.1 Contrôles Non destructifs et destructifs :**Erreur ! Signet non défini.**

I.5 Epilogue:**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre II: Processus de fabrication

II. Processus de fabrication**Erreur ! Signet non défini.**

II.1 Introduction :**Erreur ! Signet non défini.**

II.2 La TSS (tuberie sans soudure) :**Erreur ! Signet non défini.**

II.2.1 La gamme des tubes fabriqués :**Erreur ! Signet non défini.**

II.2.2 Caractéristiques techniques :**Erreur ! Signet non défini.**

II.2.3 Principaux clients :**Erreur ! Signet non défini.**

II.3 Processus de fabrication des tubes :**Erreur ! Signet non défini.**

II.3.1 Ateliers LAT (laminoir à tube) :**Erreur ! Signet non défini.**

II.3.2 Atelier PAT (parachèvement à tube) :**Erreur ! Signet non défini.**

II.4 Dimension et épaisseur et masse des tubes :**Erreur ! Signet non défini.**

II.4.1 CASING (selon la spécification API -5 CT) :	Erreur ! Signet non défini.
II.4.2 LINE-PIPE (selon la spécification API -5L) :	Erreur ! Signet non défini.
II.5 Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre III: Analyse de conformité des pipelines

III. Analyse de conformité des tubes	Erreur ! Signet non défini.
III.1 Introduction :	Erreur ! Signet non défini.
III.2 Test de khi-deux :	Erreur ! Signet non défini.
III.2.1 Domaine d'application du test :	Erreur ! Signet non défini.
III.3 les cartes de contrôle :	Erreur ! Signet non défini.
III.4 Application :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.1 Mise en application du test de khi-deux :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.2 Analyse de relevé des épaisseurs des tubes sortis du laminoir : ..	Erreur ! Signet non défini.
III.4.3 Mise en application du test de khi-deux :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.4 Analyse de relevé des épaisseurs des tubes sortis du laminoir : ..	Erreur ! Signet non défini.
III.4.5 Les cartes de contrôle :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.5.1 Calcul des limites supérieure et inférieure pour la carte de la moyenne :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.5.2 Calcul des limites supérieure et inférieure pour la carte de l'étendue :	Erreur ! Signet non défini.
III.5 Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre IV: La maintenance et les pipelines

IV. La maintenance et les pipelines	Erreur ! Signet non défini.
IV.1 Préambule :	Erreur ! Signet non défini.
IV.2 But :	Erreur ! Signet non défini.
IV.3 Domaine d'application :	Erreur ! Signet non défini.
IV.4 Personnel :	Erreur ! Signet non défini.
IV.5 Moyens nécessaires :	Erreur ! Signet non défini.
IV.6 Synoptique et Type de Maintenance :	Erreur ! Signet non défini.
IV.7 Arbre de défaillance du pipeline :	Erreur ! Signet non défini.
IV.7.1 L'arbre de défaillances probabilisé :	Erreur ! Signet non défini.
IV.8 Maintenance Préventive :	Erreur ! Signet non défini.
IV.8.1 Définition :	Erreur ! Signet non défini.

IV.8.2 Objectifs de la Maintenance Préventive :	Erreur ! Signet non défini.
IV.8.3 Déroulement de la Maintenance préventive :	Erreur ! Signet non défini.
IV.8.3.1 Systématique :	Erreur ! Signet non défini.
IV.8.3.2 Conditionnelle:	Erreur ! Signet non défini.
IV.8.3.3 Maintenance prévisionnelle :	Erreur ! Signet non défini.
IV.9 Maintenance corrective :	Erreur ! Signet non défini.
IV.9.1 Maintenance corrective palliative :	Erreur ! Signet non défini.
IV.10 Grands Travaux et Arrêt Annuel de la TSS:.....	Erreur ! Signet non défini.
IV.10.1 Etude du bilan Arrêt N-1 :	Erreur ! Signet non défini.
IV.10.3 Détermination des moyens humains et Matériels :	Erreur ! Signet non défini.
IV.10.4 Affectation des Travaux :	Erreur ! Signet non défini.
IV.10.4.1 Travaux confiés à la maintenance de l'usine :	Erreur ! Signet non défini.
IV.10.4.2 Travaux confiés aux services prestataires :	Erreur ! Signet non défini.
IV.11 Remise des Plannings aux différents intervenants pour critique :	Erreur !
	Signet non défini.
IV.11.1 Elaboration du Document final :	Erreur ! Signet non défini.
IV.11.2 Elaboration du Planning Général :	Erreur ! Signet non défini.
IV.11.3 Réunions de synthèse :	Erreur ! Signet non défini.
IV.11.4 Planning De l'Arrêt Annuel :	Erreur ! Signet non défini.
IV.11.5 Exemple de Calendrier de Préventif « Arrêt programmé »:	Erreur ! Signet non défini.
IV.12 Conclusion :	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale :	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Chapitre I :

- Figure I.1 : pipelines [2].....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.2: Pertes de métal dues à la corrosion interne [1] .**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.3: Pertes de métal dues à la corrosion externe [1].**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.4: Corrosion uniforme [2]**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.5: Corrosion par piqûres [2]**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.6: Images gracieuseté de Kinder Morgan Canada et Shaw Pipe [6]**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.7: Visualisation d'une fissure d'ouverture 20 µm et de longueur 6 mm dans la paroi intérieure d'un tube de faible diamètre [9]**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.8: Principe de contrôle ultrasonique [8]**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.9: L'installation ultrasonique**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.10: Résultats d'un tube contrôlé par ultrasons**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.11: Magnétisation de tube**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.12: Principe d'une inspection des particules magnétiques [8]..**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.13: Impression, sur le film radiographique, de l'image du défaut [8]..**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.14 : Principe du contrôle de courant de Foucault [8] **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.15: Principe de la méthode de ressuage par liquide pénétrant pré émulsifié [8]**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.16 : Marquage des tubes.....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.17 : Machine de traction.....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.18 : Exemple d'une éprouvette de traction**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.19 : Résultats d'essai de traction**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.20 : Exemple d'une éprouvette d'une entaille en V **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.21 : Exemple d'une éprouvette d'une entaille en U **Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.22 : Machine de résilience.....**Erreur ! Signet non défini.**
- Figure I.23 : Machine de dureté**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre II :

Figure II.1: Localisation de TSS**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.2: Structure générale du complexe.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.3: Processus de réalisation laminage**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.4: Processus de finissage (LAT)**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.5: Processus de Traitement Thermique /CND (PAT) **Erreur ! Signet non défini.**

Figure II 6: Processus de Filetage – Finition**Erreur ! Signet non défini.**

Figure II.7 : Réalisation des manchons.....**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre III :

Figure III.1: Exemple d'une carte de contrôle par mesures**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.2 : La distribution observée des échantillons**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.3 : Taux de PEP par spécialité.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.4 : Taux de PEP par cause**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.5 : La distribution observée des échantillons**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.6 : Courbe de carte de contrôle des moyennes ...**Erreur ! Signet non défini.**

Figure III.7 : Courbe de carte de contrôle des étendues**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre IV :

Figure IV.1: Schéma de synoptique et type de maintenance **Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.2 : Démarche à suivre pour construire un arbre de défaillances**Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.3: Schéma d'analyse par arbre de défaillance du pipeline.....**Erreur ! Signet non défini.**

Figure IV.4 : Schéma de fonction d'échelle [16]**Erreur ! Signet non défini.**

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1: les caractéristiques techniques des tubes**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre II :

Tableau II.1 : Tableau de dimension, épaisseur, masse pour les casings**Erreur !**

Signet non défini.

Tableau II.2: Tableau de dimension, épaisseur, masse pour les line pipes.....**Erreur !**

Signet non défini.

Chapitre III :

Tableau III.1: Tableau des épaisseurs**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.2: Tableau des calculs**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.4 : Tableau des calculs de test de khi-deux**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.3: Tableau de khi-deux [14]**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.5 : Tableau de suivi du laminoir.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.6 : Tableau de suivi PEP par spécialité**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.7 : Tableau de suivi PEP par cause**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.8 : Tableau des calculs**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.9: Tableau des calculs de test de khi-deux**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.10 : Table des constantes (moyenne et écart-type inconnus).....**Erreur !**

Signet non défini.

Tableau III.11 : Tableau des limites pour les moyennes ...**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau III.12 : Table des constantes (moyenne et écart-type inconnus).....**Erreur !**

Signet non défini.

Tableau III.13: Tableau des limites pour les étendues.....**Erreur ! Signet non défini.**

Chapitre IV :

Tableau IV.1 : Valeurs pondérées.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau IV.2 : Valeurs de pondération donnée par des experts **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau IV.3 : récapitulatif des probabilités de défaillances **Erreur ! Signet non défini.**

Tableau IV.4: Planning De l'Arrêt Annuel.....**Erreur ! Signet non défini.**

Tableau IV.5: Tableau d'un exemple de Calendrier de Préventif .. **Erreur ! Signet non défini.**

Introduction générale :

Les structures industrielles subissent des dégradations qui peuvent résulter de leurs conditions normales d'exploitation. En effet, elles peuvent être en contact avec des produits chimiques, se trouver en présence de radioactivité, ou subir l'effet des conditions climatiques, et bien souvent, elles fonctionnent sous contraintes mécaniques ou thermiques. De plus, la survenue d'événements extérieurs accidentels tels que des impacts peut conduire à des dégradations supplémentaires et de nature différente. Le cumul de ces dégradations entraîne des pertes matérielles importantes se traduisant directement en termes de coût d'exploitation, et ce, dans des proportions significatives. Leur nocivité sur la tenue de la structure est une fonction complexe de nombreux facteurs comme leur nature, leurs dimensions et leur position. Compte-tenu du besoin permanent de maintenir ces structures en fonctionnement le plus longtemps possible afin d'en améliorer la rentabilité, les enjeux de sûreté constituent une problématique industrielle majeure dans de nombreux secteurs comme ceux de l'énergie, du transport aérien ou de la pétrochimie.[1]

Les pipelines sont des outils essentiels de transport massif de fluides (liquides, liquéfiés ou gazeux) sur de grandes distances comme sur de petites liaisons. Ils allient débit important et discrétion et confirment année après année qu'ils sont le mode le plus sûr et le plus écologique de transport des hydrocarbures, notamment. Toutefois, si leur enfouissement permet cette discrétion dans la performance, il est aussi problématique dès lors qu'il faut envisager d'assurer la maintenance de ces ouvrages de transport. Ceci est en particulier le cas pour vérifier l'efficacité des mesures préventives mises en œuvre pour faire face aux diverses menaces auxquelles est soumise une canalisation enterrée ou sous-marine : milieu agressif, endommagement par des tiers ou par des éléments de terrain, fluide transporté corrosif, ...[2]

Les possibilités offertes d'améliorer la capacité de transport des hydrocarbures, par l'élévation de la pression de service et des diamètres des tubes de transport des produits pétroliers ne sont pas encore utilisées de manière assez suffisante, alors que les tendances mondiales dans ce domaine envisagent leur augmentation. Le passage à des pressions de service élevées nécessite l'amélioration des propriétés mécaniques des aciers de ces derniers, de manière à réduire les épaisseurs des parois des tubes. En d'autres termes, la qualité des hydrocarbures de grand débit dépend du choix de la

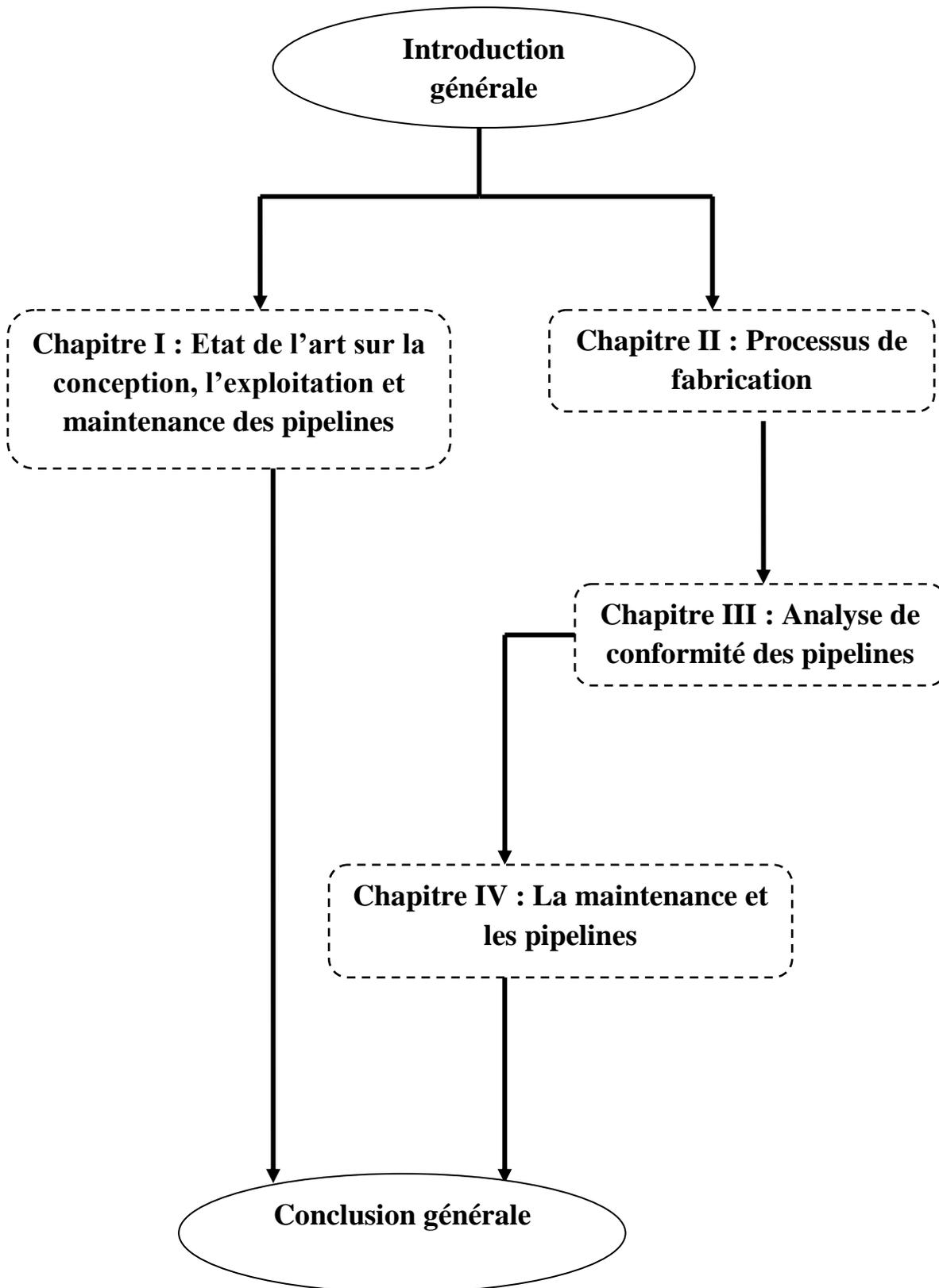
Introduction générale

meilleure combinaison entre les propriétés des tubes, à savoir la résistance et la ténacité. La qualité d'un hydrocarbure est une question primordiale pour les projets de transport du gaz et pétrole par canalisation. L'objectif dans ce cas est de réduire les ruptures imprévues dont les conséquences sont souvent néfastes.

Les tubes peuvent aussi être attaqués par un phénomène de corrosion interne et externe, de fissuration ou bien de faille de fabrication. La corrosion interne et externe peut générer d'énormes fuites et de ruptures des canalisations, se traduisant parfois par des dégâts catastrophiques (dégâts humains, pollution du milieu naturel, frais supplémentaires de réparation, arrêt prolongé du pompage, etc.). Si un pipeline porteur d'eau est affecté d'un éclatement de fuite, au moins cela ne nuit pas à l'environnement. Cependant, si la fuite de pipeline est du pétrole, cela peut être un désastre environnemental. [3]

Ainsi, les méthodes de contrôles non-destructifs (CND) occupent une place de choix parmi les réponses apportées à ces enjeux de sûreté, puisqu'elles peuvent être mises en œuvre lors des différentes étapes du cycle de vie d'une pièce (production, exploitation, démantèlement). Elles constituent une solution globale efficace servant à s'assurer du bon fonctionnement des structures sans en altérer les propriétés. Grâce à la multitude des techniques susceptibles d'être mises en œuvre (ultrasons, courant de Foucault, radiographie, ressuage, magnétoscopie...). La nécessaire maîtrise de ces contrôles, dont les enjeux sont cruciaux pour une utilisation en toute sécurité des structures concernées, oblige à une compréhension approfondie des phénomènes associés à la propagation et à la diffraction des ondes élastiques en leur sein. Une meilleure connaissance du fonctionnement de la méthode de contrôle doit, d'une part, en faciliter la mise en œuvre et l'optimisation, et d'autre part, permettre à l'expert d'interpréter plus aisément les résultats du contrôle et de poser un diagnostic plus sûr quant à l'éventuelle anomalie à l'origine des signaux mesurés. De ce fait, le recours aux simulations apparaît comme le moyen idéal pour répondre efficacement et à faible coût à ces deux enjeux [1].

Ainsi la structure de notre travail sera comme suit :



I. Etat de l'art sur la conception, l'exploitation et la maintenance des pipelines en acier

I.1 Introduction :

Face à la dégradation des pipelines, les opérations de maintenance visent à préserver un niveau de fiabilité acceptable tout au long de leur durée de vie. La maintenance préventive (la planification des inspections) permet de réduire considérablement les probabilités de défaillance, mais elle engendre des coûts supplémentaires, qui sont dus, dans beaucoup de cas, au manque à gagner résultant de l'indisponibilité du système.

L'objectif de la politique de maintenance (d'inspection) est donc de rechercher le meilleur compromis entre des exigences contradictoires de coût et de fiabilité. Le plan de maintenance (d'inspection) optimal est celui qui garantit la meilleure fiabilité/disponibilité, au moindre coût d'intervention.

Dans le domaine du transport des hydrocarbures par canalisation, les conduites sont souvent enterrées et ainsi exposées à la corrosion interne et externe favorisant des pertes importantes de métal réduisant la durée de vie de ces dernières [4].

I.2 Les pipelines :

Un pipeline est une canalisation enterrée ou aérienne transportant des biens depuis les sources originale jusqu'aux usines de traitement des liquides (filtration, raffinage, liquéfaction,...), qu'ils soient sous forme liquide ou gazeuse. Les pipelines sont le plus souvent construits à partir de tubes d'acier soudés bout à bout, revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol. Ces pipelines s'avèrent coûteux et parfois difficiles à mettre en ouvre selon les caractéristiques des terrains traversés, en zone de risque sismique ou politiquement instable. Au contraire de leur investissement initial ; leur utilisation est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres formes de transport concurrentes, au moins sur de petites et moyennes distances [3].



Figure I.1 : pipelines [2]

I.3 Caractéristiques mécaniques des tubes :

Le développement des transports à grande distance de quantités importantes d'hydrocarbures a nécessité l'emploi des tubes de grand diamètre, exploités à des pressions plus élevées. Pour éviter d'atteindre des épaisseurs difficiles à souder et faire des économies d'acier, on a eu recours à de nouvelles nuances à caractéristiques mécaniques améliorées. C'est ainsi qu'on a vu apparaître les grades X60, X65, X70, X80 et même X100. Les aciers des tubes peuvent être divisés en deux groupes : aciers au carbone faiblement alliés et aciers à faible teneur en carbone. Dans le premier groupe on trouve les aciers ferrito-perlitique X42 à X52 (selon API) renfermant jusqu'à 0,3 % C, 1,6 % Mn, 0,7 % Si. Dans le deuxième groupe on trouve les aciers ferrito-perlitiques faiblement alliés à basse teneur en carbone X56, X50, X65, X70 renfermant 0,12 % C, 0,45 % Si, 0,25 % S, 1,9 % Mn, 0,1 % V, 0,1Nb, 0,015 % Al. Pour les conduites de diamètre supérieur à 1020 mm, destinée à fonctionner sous des pressions élevées, on utilise généralement des tubes en acier de laminage contrôlé [3].

I.4 Les types d'inspections et les modes de dégradations des pipelines :

I.4.1 Les modes de dégradations des pipelines :

Bien que le transport de produits dangereux par pipeline soit considéré comme un moyen de transport sûr et malgré la gestion rigoureuse du réseau de pipelines, des défaillances sont identifiées principalement dans la surveillance des travaux effectués dans ce couloir.

La multiplication des accidents plus ou moins graves, notamment dus à la corrosion, ainsi que leur incidence sur l'économie mondiale et leur impact sur l'environnement rendent le transport des hydrocarbures de plus en plus préoccupant.

Les cas les plus fréquents sont relatifs à des incidents amorcés à partir de défauts issus soit de l'élaboration du matériau, soit de la fabrication, de l'assemblage, de la réparation ou des conditions d'exploitations des tubes et qui ont conduit à la naissance et à la propagation des fissures superficielles où traversantes suivies de fuites.

On trouve six catégories principales de causes des dégradations des pipelines :

- Agression externe ou activité tierce (les plus répandus) ;
- Corrosion interne ou externe ;
- Défaut de construction ou défaillance de matériels ou défaut mécanique ;
- Mouvement de terrain ou risques naturels en général ;
- Erreurs opérationnelles;
- Autres et causes inconnues [3].

I.4.1.1 Défaillances mécaniques :

Les défaillances mécaniques sont des ruptures et des fissures qui se produisent lorsque des contraintes dans le système dépasser le stress admissible. Ils peuvent être causés par une mauvaise qualité du matériau ou défectueux construction.

Des défauts de fabrication peuvent se produire dans le ou les raccords, par exemple, dans le mur de la tuyauterie ou dans la soudure longitudinale. Les mauvaises techniques de construction peuvent générer un stress résiduel élevé niveaux dans le pipeline avant la mise en service.

Les défaillances mécaniques représente environ 25% du nombre d'incidents de déversement et environ 30% du volume net a été répandu sur l'ensemble de la période de vingt-cinq ans.

I.4.1.2 Défaillance opérationnelle :

Les défaillances opérationnelles peuvent être attribuables à une surpression ou à un dysfonctionnement des systèmes tels que dispositifs de décompression ou de contrôle. Ils sont également causés par des erreurs humaines telles que en ne respectant pas les instructions d'utilisation correctes. Cependant, l'industrie a acquis une grande expérience des pipelines opérationnels et l'incidence des déversements a provoqué par erreur opérationnelle est très faible à 7% des incidents dans les données de vingt-cinq ans.

I.4.1.3 Risque naturel :

Les risques naturels sont des phénomènes tels que les glissements de terrain, les inondations, l'affaissement au sol et les tremblements de terre.

Ces politiques de routage et de conception ont entraîné une très faible incidence d'échec due à des risques naturels de seulement 4% des incidents dans la période de 25 ans [5].

I.4.1.4 Dégradation par corrosion :

C'est un phénomène naturel qui se produit lorsque le métal réagit avec l'environnement, soit par exemple au contact de l'eau ou de la terre. Tout comme une bicyclette exposée à la pluie finira par se rouiller et commencera à se corroder, les pipelines peuvent se corroder au bout d'un certain temps s'ils ne sont pas protégés [6].

a- Pertes de métal dues à la corrosion interne :

Les pertes de métal sont provoquées le plus souvent par des attaques chimiques de la surface interne de la conduite (figure I.2). Ce type de corrosion est favorisé par la présence de sulfure d'hydrogène et de dioxyde de carbone dans le gaz et la présence de bactéries sulfate- réductrices (BSR) dans le cas des oléoducs.



Figure I.2: Pertes de métal dues à la corrosion interne [1]

b- Pertes de métal dues à la corrosion externe :

Les pertes de métal sont provoquées le plus souvent par des phénomènes de type électrochimique et chimique de la surface externe de la conduite (figure I.3).

Les principaux facteurs favorisant ce type de corrosion sont :

- Les défauts de revêtement de la conduite ;
- Les insuffisances du système de protection cathodique;
- L'agressivité du sol (sol de faible résistivité électrique) [1].

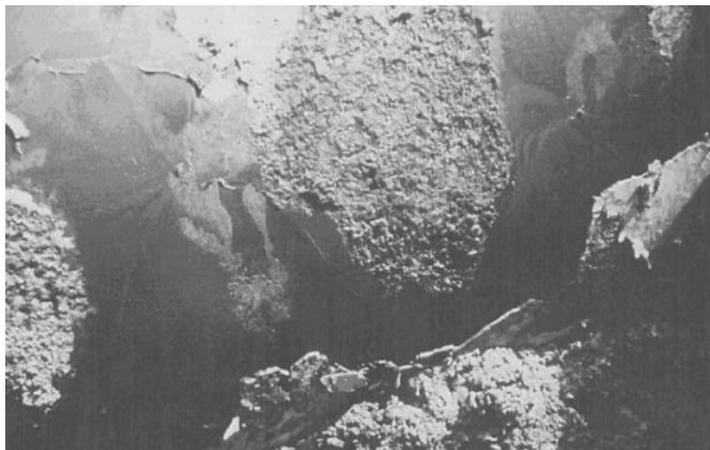


Figure I.3: Pertes de métal dues à la corrosion externe [1]

c- Corrosion uniforme :

La corrosion uniforme est caractérisée par un taux de corrosion relativement uniforme sur l'ensemble d'une surface exposée. Ce type de corrosion est habituellement prévu pour les pièces faisant partie d'élément structural qui peuvent être sacrifiés au fil du temps, mais elle affecte tous les métaux communs. Dans le cas des aciers au carbone, le fer réagit avec l'oxygène pour former de la magnétite minérale, qui est de l'oxyde de fer dont la formule chimique est Fe_3O_4 .



Figure I.4: Corrosion uniforme [2]

d- Corrosion par piqûres et corrosion caverneuse :

La corrosion par piqûres et la corrosion caverneuse sont des cas particuliers de corrosion galvanique dans lesquels la perte de métal est localisée sur une zone de métal relativement petite.

Dans de tels cas, la corrosion se produit à cause des différences de concentration localisées de l'oxygène ou d'un ion agressif, par exemple un ion de chlore, ou encore à cause d'une différence de pH.

Cette situation peut survenir lorsque les conditions de l'écoulement provoquent un faible débit ou une stagnation, par exemple, dans les petites fissures, les espaces ou les criques, comme celles associées à la présence de boulons ou de joints d'étanchéité, ou encore aux points de contact entre les métaux.

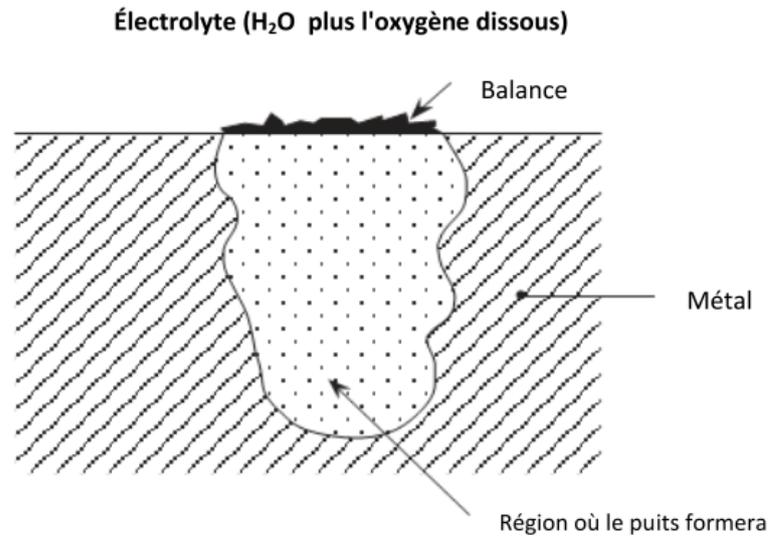


Figure I.5: Corrosion par piqûres [2]

e- Corrosion-érosion :

La corrosion-érosion se produit lorsque le débit de l'eau se combine à la corrosion pour augmenter considérablement la vitesse d'enlèvement du métal par rapport à la vitesse d'enlèvement à des débits plus faibles. L'effet du débit est dû à l'enlèvement des ions métalliques et des couches protectrices à mesure qu'ils se forment, ce qui accroît la force d'entraînement de corrosion chimique et peut empêcher la formation d'une couche protectrice.

f- Corrosion induite microbiologiquement (CIM) :

Les bactéries, que l'on trouve couramment dans l'eau stagnante, favorisent la corrosion induite microbiologiquement (CIM). Le phénomène peut se produire avec ou sans oxygène, parce que certaines bactéries ont évolué de manière à se reproduire dans l'une ou l'autre condition.

Des nodules de bactéries qui aiment l'oxygène peuvent se déposer à la surface des métaux, ce qui crée des conditions semblables à celles décrites à la section de la corrosion par piqûres [3].

I.4.1.5 La protection des pipelines :

La protection des pipelines faite de deux manières. La première comprend l'application d'un revêtement sur le pipeline au cours de sa fabrication. Le type le plus courant est le revêtement époxydique; il s'agit d'une substance semblable à la peinture qui scelle la surface en acier du pipeline. L'époxyde interfère avec les mécanismes de corrosion qui affectent le pipeline. D'autres types de revêtements spécifiques sont aussi utilisés sur le terrain pour prévenir la corrosion. Ils s'appliquent souvent à des cas précis, en fonction de la situation. Par exemple, on utilise un enduit de ciment spécial pour la traversée d'un cours d'eau afin d'alourdir la canalisation et de la protéger contre tout dommage mécanique au cours de son installation.

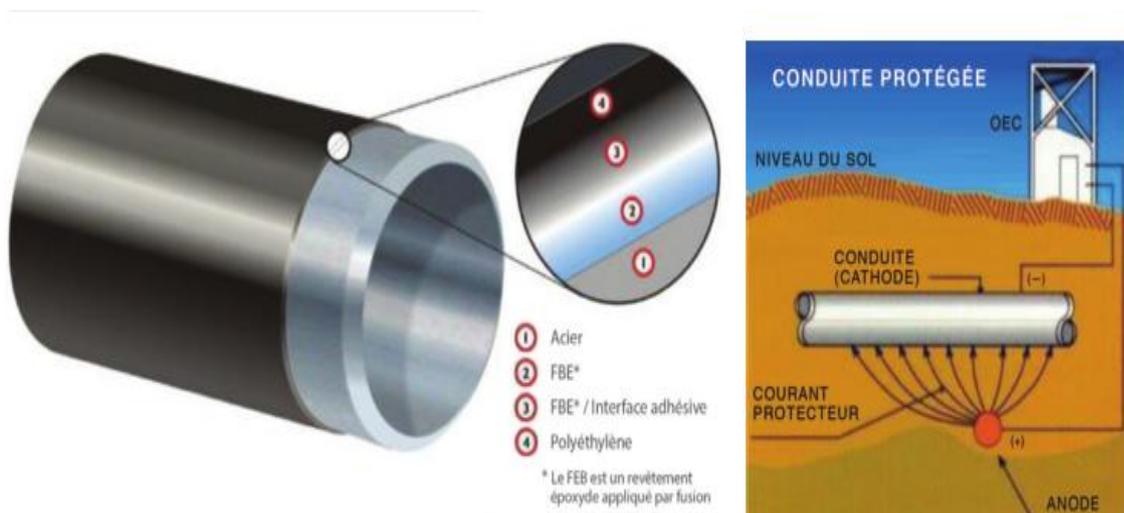


Figure I.6: Images gracieuseté de Kinder Morgan Canada et Shaw Pipe [6]

Une autre mesure de protection consiste à recourir à la protection cathodique. Cette dernière est une technique qui permet de maîtriser la corrosion d'une surface en métal en utilisant une autre pièce en métal pour éloigner la corrosion d'une canalisation grâce à l'utilisation d'un courant électrique très précisément calibré.

La corrosion exige une combinaison de métal, d'eau et d'air. Bien que la corrosion externe des pipelines de distribution soit plus répandue que leur corrosion interne, les défaillances sont extrêmement rares. Ceci est partiellement dû à un programme d'entretien rigoureux.

La corrosion interne est rare du fait que le produit que transporte le pipeline s'écoule sans arrêt et que l'intérieur de la canalisation est fréquemment nettoyé à l'aide de racleurs [6].

I.4.2 Les types d'inspections des pipelines :

Le Plan de Modernisation des Installations Industrielles est aujourd'hui au cœur de l'actualité et concerne plus particulièrement les canalisations et les pipelines. En règle générale, ces derniers sont difficilement accessibles pour les opérations de contrôle car ils sont souvent enterrés et difficiles d'accès, ou bien ils nécessitent parfois la mise en œuvre d'opérations lourdes telles que la mise en place d'échafaudages et l'enlèvement des protections type calorifuge de la canalisation [7].

I.4.2.1 Contrôles Non destructifs et destructifs :

A- Contrôles Non Destructifs (CND) :

Les contrôles non destructifs (CND), sont couramment utilisés pour décrire la technologie de détection des défauts dans les solides. Cette technologie couvre un groupe de techniques d'analyse utilisées dans la science et l'industrie pour évaluer les propriétés d'un matériau, d'un composant ou d'un système sans causer de dégâts. C'est un élément essentiel du contrôle de la qualité des systèmes d'ingénierie pour leur utilisation sûre et réussie dans des situations pratiques. Cependant, les applications de CND ne vont pas plus loin et ont une portée beaucoup plus large que la détection de défauts grossiers. Ils concernent tous les aspects de la caractérisation des solides ainsi que leur méthode de préparation [8].

1- Contrôle des lingots :

Un contrôle à la réception des lingots est effectué sur la base des spécifications techniques (forme, dimensions, défauts de surface tels que les empreintes et les griffures), de la liste de colisage et la spécification des lingots dans le but de s'assurer la conformité des lingots reçues avec les documents d'accompagnement.

Un second contrôle des documents d'accompagnement (certificats d'analyse chimique et mécaniques) établis par le fournisseur. Les lingots conformes sont saisies sur une liste de réception, et sont identifiées par un marquage indélébile comportant :

Numéro du lingot, Numéro de la coulée et la nuance de l'acier, Poids de lingot, Dimensions, Nom du fournisseur, Identification du projet.

Cette identification permet d'assurer la traçabilité du produit réceptionné. Les lingots non conformes sont isolés avec un marquage spécifique.

2- Contrôles des tubes :

Ce contrôle a pour but de mettre en évidence des défauts soit directement (visuel) soit indirectement par leurs effets (visuel, magnétoscopie, ultrasons, BEH...).

Ces défauts sont de types :

- Défauts admissibles (soufflures sphériques ou allongées, coup d'arc...)
- Défauts non admissibles (manque de pénétration, fissures, caniveaux...).

La conformité des tubes est vérifiée à la fin de l'opération de fabrication et avant leur acheminement vers le parc par différents moyens de contrôle. Ces contrôles sont les suivants :

3- Contrôle visuel :

Le contrôle visuel consiste à l'analyse, par un contrôleur, des variations de réflectivité relative d'une pièce soumise à un éclairage dont la géométrie et la puissance lui permettent de mettre en évidence les défauts recherchés. L'utilisation d'instruments optiques tels que des loupes, endoscopes ou systèmes télévisuels permet, lorsque cela est nécessaire, d'obtenir une plus grande sensibilité que celle de l'œil humain nu ou d'accéder à des zones de géométries complexes ou contraignantes.

Le contrôle visuel est direct si le chemin optique n'est pas interrompu entre la surface inspectée et l'œil du contrôleur. Cette catégorie regroupe les contrôles à l'œil nu et ceux utilisant des loupes, miroirs, lentilles, boroscopes, fibres optiques, etc.

Le contrôle visuel permet la détection de tout défaut débouchant en surface (fissures, rayures, porosités, retassures, gouttes froides, lignes, repliures, dédoubleures, criques, tapures, dépôts, traces de corrosion, dépôts, corps migrants, arrachement, etc...) [9].



Figure I.7: Visualisation d'une fissure d'ouverture $20\ \mu\text{m}$ et de longueur 6 mm dans la paroi intérieure d'un tube de faible diamètre [9]

4- Contrôle par les ultrasons :

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques prenant naissance et se propageant dans tout support matériel (solide, liquide ou gaz) présentant une certaine élasticité [10].

Cette technologie utilise les temps de parcours d'une onde ultrasonore (perpendiculaire à la surface des tubes) de fréquence supérieures à 20 kHz [8].

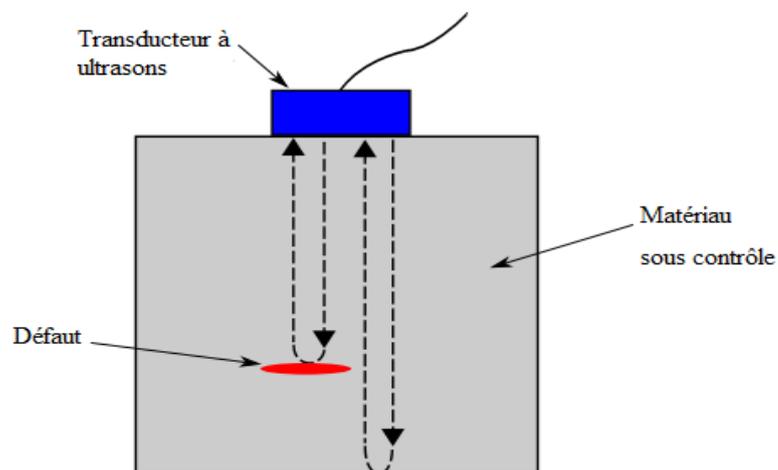


Figure I.8: Principe de contrôle ultrasonique [8]

La TSS utilise l'installation d'inspection par Ultrasons GRP-PAT-PB de tubes sans soudure (line pipe, casing) qui représenter dans la figure I.9.



Figure I.9: L'installation ultrasonique

Les résultats du contrôle sont enregistrés automatiquement sur PC et imprimés sur papier (rapport Ultrason ou numéro du tube y est reporté ; les indications des défauts sont affichées d'une manière acoustique et optique) (figure I.10). Pour contrôler la fiabilité de l'installation ultrasonique, un tube étalon est passé périodiquement en contrôle début et fin de chaque poste de travail, l'inspecteur s'assurera que tous les défauts artificiels créés sur ce tube sont repérés lors du contrôle.

Imprimé le: mardi 14 mars 2017 09:59:45
 Ordinateur: 773277-AMPTA
 Utilisateur: us

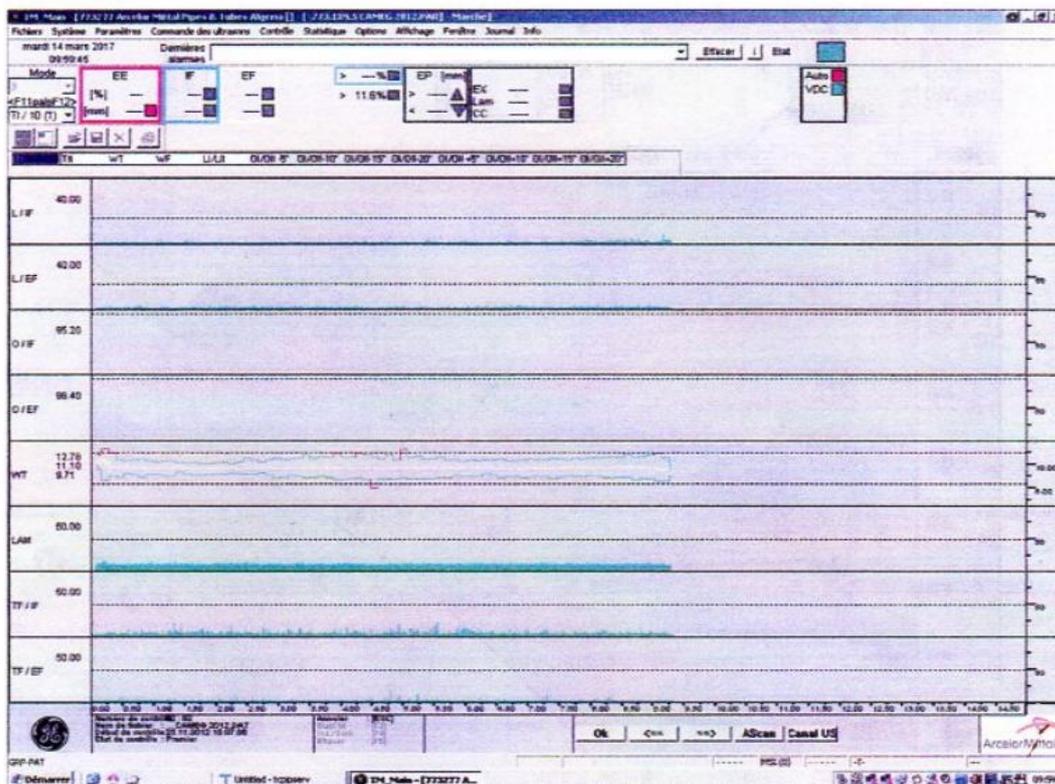


Figure I.10: Résultats d'un tube contrôlé par ultrasons

Caractéristiques techniques des tubes à contrôler :

Diamètre	152- 356 mm (6 " à 14")
Matériaux	Acier au carbone faiblement allié - Acier fortement alliés en fonction de la grosseur de grain (les défauts de références doivent être affichés avec une amplitude d'au moins de 12 dB au dessus du niveau du bruit).
Epaisseur	4 à 26 mm.
Epaisseur /diamètre	$e/d \leq 0.18$ (pour des défauts obliques <0.15).
Longueur	5 à 15 m.
Etat de surface	Brute de laminage ou mieux, non huilée et sans calamine.
Rectitude	Flexion max 1mm/m, différence par rapport à la droite linéaire pas plus de 15 mm sur toute la longueur.
Oralité	Max 1.5 % du diamètre externe.
Extrémité	Coupées et biseautées, sans ébavure externe.

Tableau I.1: les caractéristiques techniques des tubes

5- Contrôle par BEH (banc d'épreuve hydraulique) :

Il s'agit , en premier lieu, de vérifier la résistance du tube, c'est-à-dire, vérifier que le produit présente les caractéristiques mécaniques correspondant à ses dimensions et conformes au cahier des charges.

Ces épreuves hydrauliques sont, en général, réglées par l'API, pour la pression d'épreuve, et pour le temps de maintien en pression.

La pièce à éprouver est remplie d'un liquide (eau en général). Ce liquide est mis en pression, de façon créer une contrainte transversale d'un taux déterminé.

La contrainte créer s'exprime généralement par la formule de Barlow.

$$\sigma = \frac{PD}{200e} \quad (I. 1)$$

σ : contrainte en hectobars.

P : pression en bars.

D : diamètre extérieur en millimètres.

e : épaisseur en millimètres.

Il s'agit d'une formule approchée, donnant néanmoins toute sécurité dans les domaines couverts par l'API.

Les spécifications précisent que la contrainte doit atteindre un taux déterminé « t » de la limite élastique spécifiée E.

$$\sigma = tE \quad (I. 2)$$

E en hectobars ;

t sans dimension.

Donc, pour un produit déterminé, la pression d'épreuve sera :

$$P = \frac{200t \cdot E \cdot e}{D} \quad (I. 3)$$

Au besoin limité supérieurement à une valeur conventionnelle.

Pour s'assurer que chaque longueur de tube est essayée à la pression d'épreuve exigée pendant le temps imposé, le banc d'épreuve est équipé :

- Soit d'un enregistreur (pression, durée) ;
- Soit d'un dispositif automatique ne permettant l'évacuation du produit à tester qu'après avoir atteint la pression imposée, et l'avoir maintenue le temps imposé [11].

6- Contrôle par magnétoscopie (MPI) :

MPI utilise des champs magnétiques et de petites particules magnétiques (c'est-à-dire des débris de fer) pour détecter les défauts dans les composants. L'objet inspecté doit être constitué d'un matériau ferromagnétique. La TSS utilise se contrôle par applique un champ magnétique dans les tubes testés. Ces derniers sont magnétisés par une aimantation qui circuler par l'intermédiaire de deux électrodes (cône de magnétisation) un courant électrique. Le passage de courant produit un champ magnétique qui est formé dans le matériau (figure I.11). Si des défauts sur ou à proximité de la surface sont présents, les défauts créeront un champ de fuite. Une fois que le composant a été magnétisé, des particules de fer sont appliquées à la surface de la partie magnétisée. Les

particules seront attirées et se regroupent dans les champs de fuite de flux, ce qui constitue une indication visible que l'inspecteur peut détecter (figure I.12) [8].

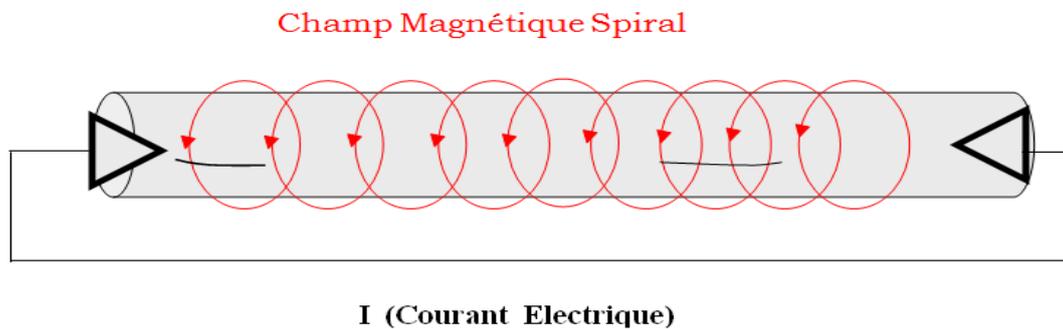


Figure I.11: Magnétisation de tube

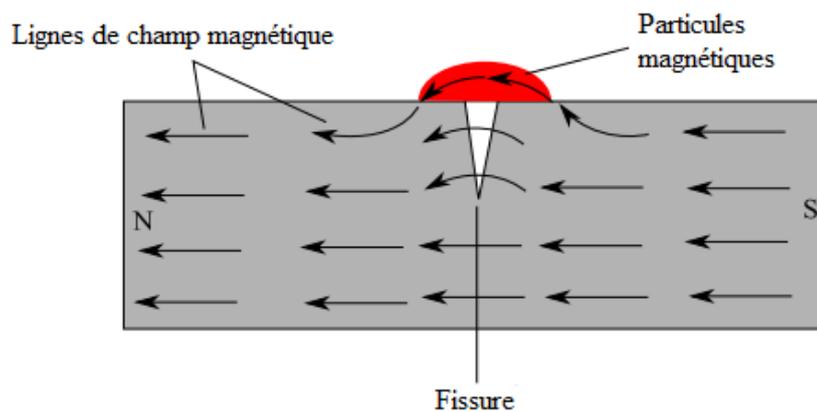


Figure I.12: Principe d'une inspection des particules magnétiques [8]

La TSS n'est utilisée que quatre méthodes de contrôle non destructif (visuel, ultrasons, magnétoscopie, banc d'épreuve hydraulique), mais il existe aussi d'autres méthodes très efficaces pour détecter les défauts dans les tubes, ces derniers sont présentés en dessous :

a- Contrôle par radiographie :

Le but de la radiographie est de montrer la présence et la nature des défauts ou d'autres discontinuités structurelles à l'intérieur des matériaux examinés. Cette technique utilise la capacité des radiations électromagnétiques à courte longueur d'onde, telles que les rayons X ou les rayons gamma, à pénétrer les objets. En général, plus la longueur

d'onde est courte, plus grande est la puissance de pénétration. Le contraste dans une radiographie est dû à différents degrés d'absorption des rayons X dans l'échantillon et dépend des variations de l'épaisseur de l'échantillon, des constituants chimiques différents, des densités non uniformes, des défauts, des discontinuités ou des processus de diffusion dans l'échantillon [8].

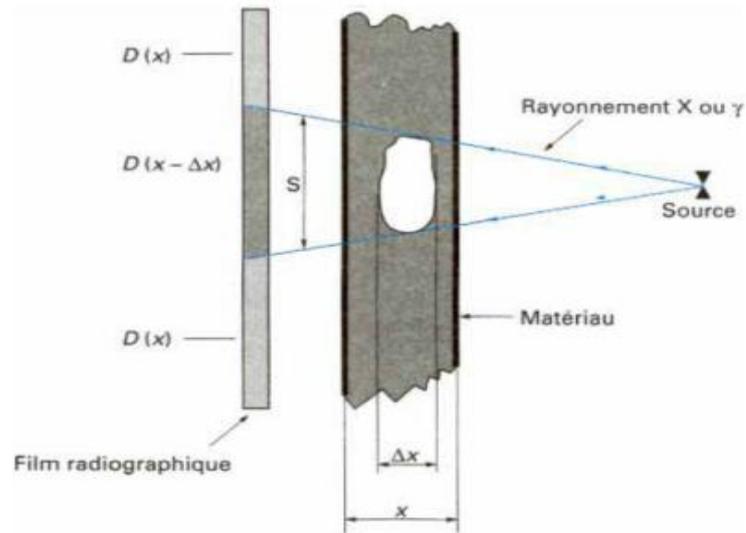


Figure I.13: Impression, sur le film radiographique, de l'image du défaut [8]

b- Contrôle par les courants de Foucault :

La méthode des courants de Foucault est utilisée dans deux aspects des tests non destructifs. Tout d'abord, comme moyen de trouver des défauts de surface et de sous-sol, et d'autre part comme un moyen de déterminer différentes caractéristiques métallurgiques à la place des méthodes destructrices. Les courants de Foucault sont créés grâce à un processus appelé induction électromagnétique.

Ainsi cette méthode, peut détecter Très petites fissures dans ou près de la surface du matériau. Il est également utile pour la mesure de la conductivité électrique et de l'épaisseur du revêtement [8].

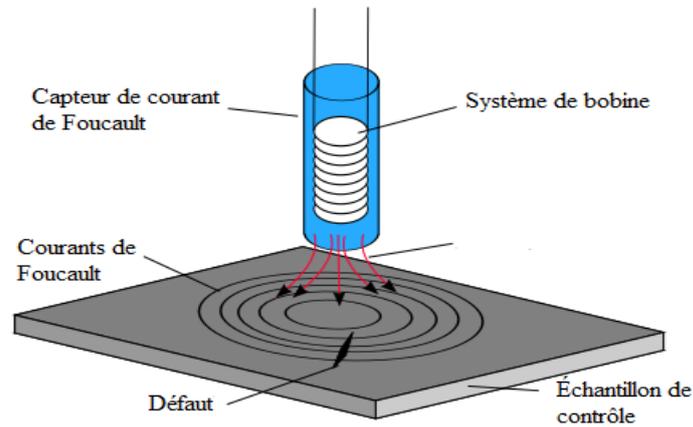


Figure I.14 : Principe du contrôle de courant de Foucault [8]

c- Contrôle par ressuage :

Le ressuage est un terme qui désigne l'extraction d'un fluide d'une discontinuité dans laquelle il s'était préalablement accumulé au cours d'une opération d'imprégnation.

L'imprégnation d'une fissure par un liquide, tirant profit de ses propriétés tensio-superficielles, conduit, par l'intermédiaire d'un ressuage avant l'observation visuelle, à un moyen de recherche de défauts de surface qui est parmi les plus anciens, les plus simples et les plus largement utilisés de nos jours.

Le mécanisme de révélation des défauts par ressuage correspond aux trois phases illustrées sur la (figure I.15) [10].

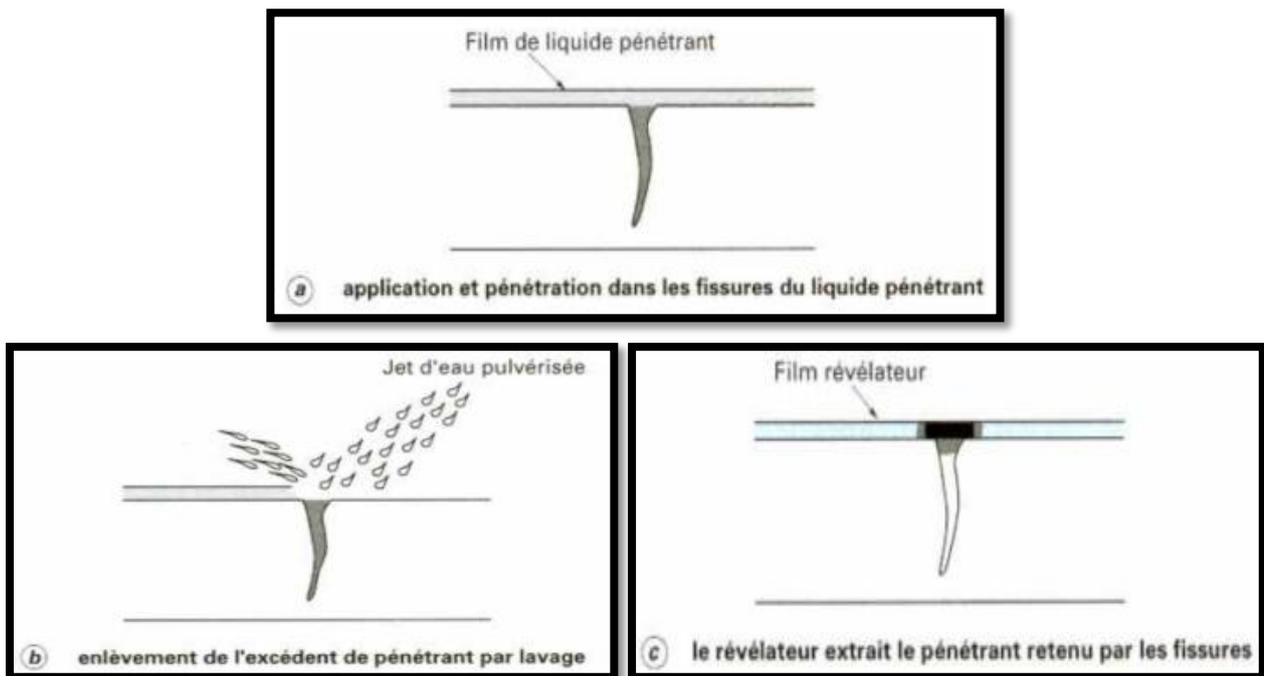


Figure I.15: Principe de la méthode de ressuage par liquide pénétrant pré émulsifié [8]

7- Contrôle final :

C'est un contrôle visuel dimensionnel qui consiste en un contrôle interne et externe de chaque tube en contrôlant les renseignements mentionnés sur la carte tube. Le tube est alors réceptionné ou classé, un numéro séquentiel lui sera attribué. Le contrôleur final veille au marquage des tubes selon la procédure en cours.



Figure I.16 : Marquage des tubes

B- Contrôles Destructifs (CD):

Les contrôles destructifs des tubes sans soudure viennent consolider la qualité du produit fabriqué par TSS. Son laboratoire d'essais mécaniques dispose d'équipements fiables étalonnés périodiquement. Ces essais destructifs se sont des essais mécaniques (essai de traction, de résilience, de dureté) et aussi des analyses chimiques, qui réalisés sur un anneau de tube (virole).

1- Prélèvement des échantillons :

Les échantillons pour les essais destructifs sont prélevés d'un anneau du tube (virole) obturé des extrémités des tubes, l'échantillonnage des coulées est conforme aux critères suivants :

- De 1 à 10 tubes par coulée : 1 prélèvement AV et AR.
- De 11 à 20 tubes par coulé : 2 prélèvement AV et AR.

2- Essais réalisés :

Tous les essais sont effectués en conformité avec les normes API 5 L et avec les spécifications du client.

a- Analyses chimiques :

Le contrôle de la composition chimique se fait sur le métal de base. Les résultats d'analyse sont comparés avec celle du fournisseur et les exigences du client, ce qui permet de définir les premiers critères d'acceptation du produit en composition chimique et en carbone équivalent (spectromètre à étincelle).

b- Essai de traction :

L'essai de traction consiste à soumettre une éprouvette normalisé selon l'API (figure I.18) à un effort de traction jusqu'à rupture en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques (la résistance ultime à la traction, la limite apparente d'élasticité à 0.2% et l'allongement)

Les valeurs R_p et R_m et $A\%$ sont obtenues dans le tableau affiché par l'ordinateur et après les résultats sont vérifiés et imprimés par le chef de laboratoire d'essais (figure I.19).



Figure I.17 : Machine de traction

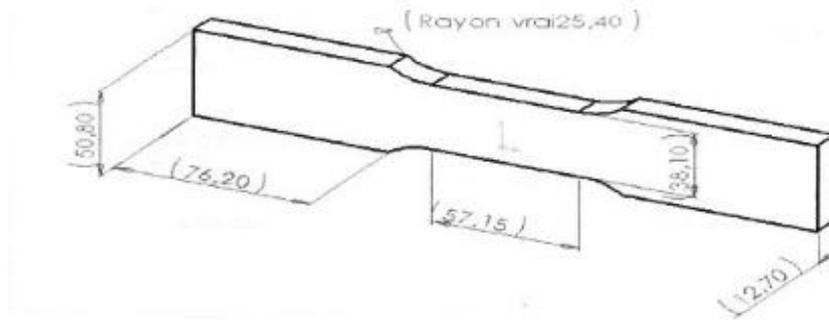


Figure I.18 : Exemple d'une éprouvette de traction

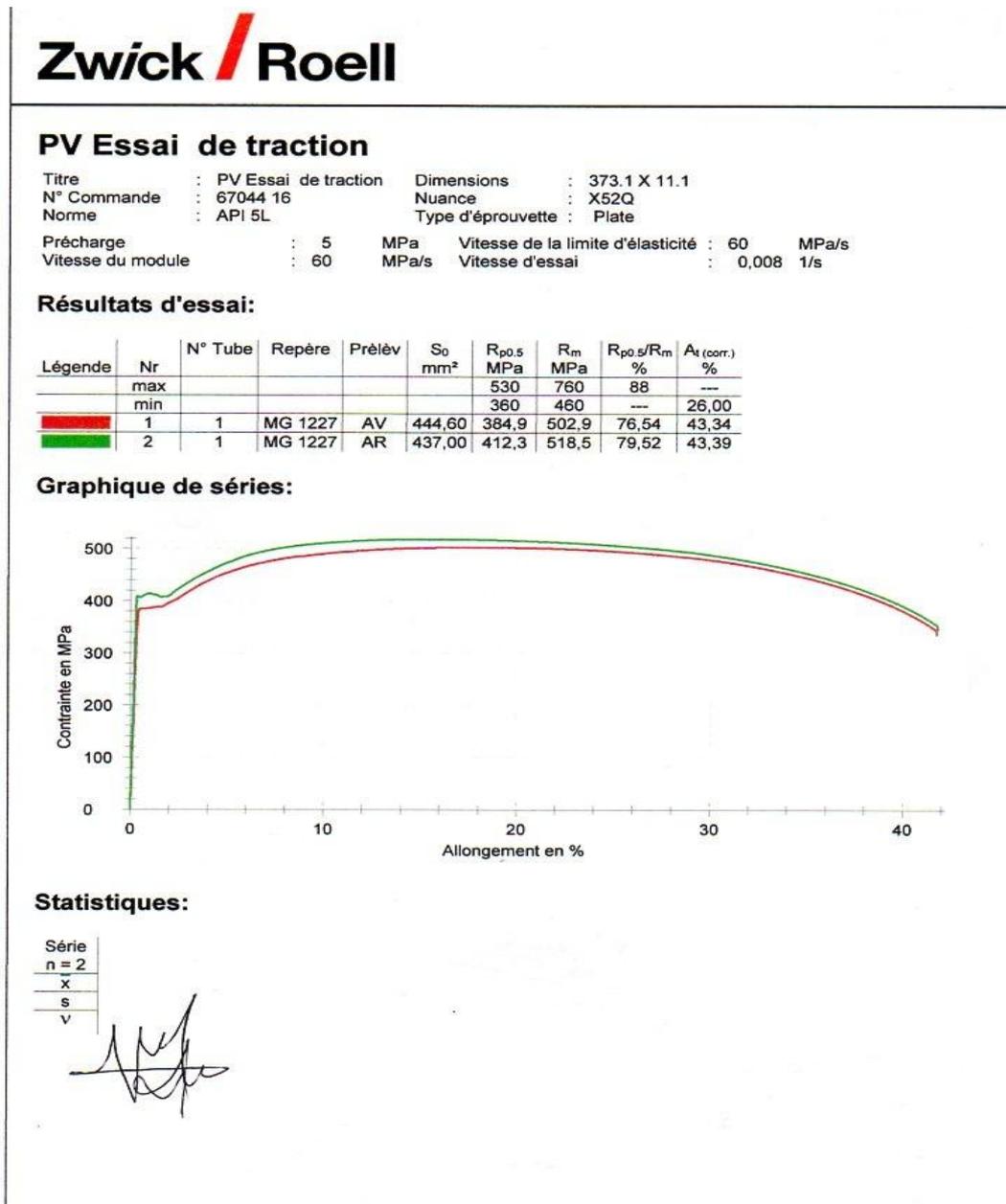


Figure I.19 : Résultats d'essai de traction

c- Essai de résilience :

L'essai de résilience a pour objet de déterminer la résistance des matériaux à la rupture sous l'effet d'un choc par l'intermédiaire de l'énergie de rupture.

La ténacité de l'acier est vérifiée par les résultats de la lecture de l'énergie déployée pour rompre les éprouvettes de résilience et du taux de ductilité du faciès de rupture. La température d'essai est exigée par le client.

Les essais de résilience ont été réalisés sur des éprouvettes d'une entaille en V (figure I.20), ou bien en U (figure I.21), normalisées dont la géométrie selon l'API

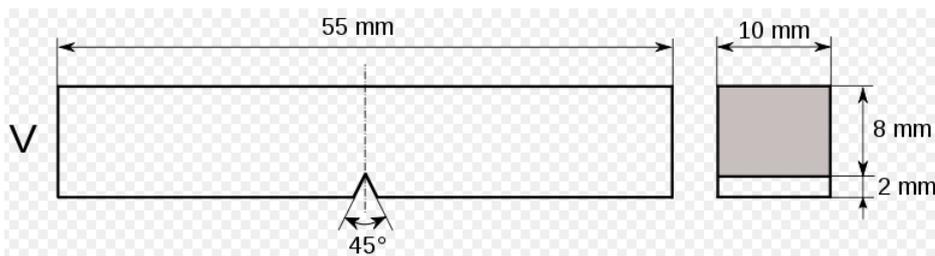


Figure I.20 : Exemple d'une éprouvette d'une entaille en V

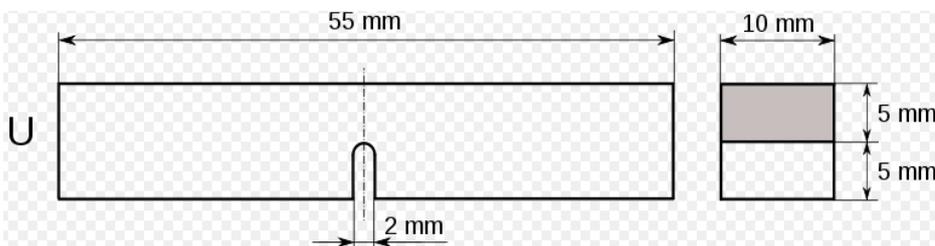


Figure I.21 : Exemple d'une éprouvette d'une entaille en U



Figure I.22 : Machine de résilience

d- Essai de dureté :

Le but de cet essai est de mettre en évidence la résistance du matériau à la pénétration, la machine de dureté mesure la pression moyenne de contact des matériaux, lors de l'enfoncement d'un indenteur (conique, pyramidal ou sphérique) sur une surface plans.

Différentes méthodes sont utilisées en fonction de la nature des matériaux:

1- Dureté ROCKWELL :

Dans cet essai, la valeur de dureté est obtenue en mesurant la profondeur de pénétration d'une pointe de diamant HRC ou d'une bille d'acier HRB sous les conditions de charge imposées. Pour l'échelle B : Le pénétrateur est une bille en acier de diamètre (1,5875 mm). Pour l'échelle C : Le pénétrateur est un cône en diamant à angle de 120 et d'extrémité sphérique (\emptyset 0,2 mm).

2- Dureté VICKERS :

La dureté Vickers est caractérisée par l'empreinte faite par un pénétrateur sous une charge donnée durant 15 secondes, le pénétrateur est formé d'une pyramide en diamant à base carrée dont les faces opposées font un angle de 136°.

3- Dureté BRINELL :

La dureté Brinell est caractérisée par l'empreinte faite par un pénétrateur sous une charge donnée pendant 15 à 30 secondes selon le métal.

L'essai Brinell utilise comme pénétrateur (poinçon) une bille en acier trempé ou en carbure de tungstène de 1, 2,5 ou 10 mm de diamètre.



Figure I.23 : Machine de dureté

I.5 Epilogue:

Ce chapitre est consacré aux types d'inspections et aux modes de dégradation des pipelines, nous avons tout d'abord évoqué les principaux facteurs responsables à la dégradation des pipelines, et les grands principes de détection des défauts et les bases physiques qui gouvernent les procédés et leurs performances.

II. Processus de fabrication

II.1 Introduction :

Dans le monde, le développement a permis à des moyens de transport des fluides dans des tubes. Ce transport se fait dans les pipelines pour des grandes distances. Au paravent le transport a été dans les camions citernes et dans les bateaux de transport hydrocarbures qui provoquent des risques et des accidents mortels.

La fabrication des tubes sans soudure est enroulée à l'aide d'un lingot d'acier, qui nous permet d'obtenir un tube fiable et normalisé. Ces tubes doivent être construits avec une qualité supérieure en tenant compte de tous les exigences technique du cahier de charge.

La qualité des tubes sans soudure fabriqués par TSS est basée sur le contrôle dès la réception de la matière première (lingot) jusqu'au produit fini (tube) en suivant la norme Américaine API 5L (American Petroleum Institut), Le respect des procédures de contrôle, des normes, des exigences et des spécifications du client a permis à TSS de réserver sa place en tant que fournisseur potentiel dans le domaine de fabrication de canalisation sans soudure pour hydrocarbure au niveau national et internationale.

II.2 La TSS (tuberie sans soudure) :

Dans le cadre du développement de l'industrie pétrolière l'entreprise Arcelor Mittal a implanté dans le site du complexe sidérurgique d'EL HADJAR- Annaba, une tuberie sans soudure (TSS) pour un principal objectif était de fournir aux exploitations des hydrocarbures liquides et gazeux des tubes pour le forage et le transport de ces produits qui occupent depuis des décennies une place très importante non seulement dans le développement économique des pays producteurs mais aussi dans les relations géopolitiques internationales, la TSS constituée :

- D'un ensemble de laminoirs à tubes ;
- D'un parachèvement à tubes (traitement thermique, filetage tubes et manchons).
- D'un atelier de fabrication de manchons.



Figure II.1: Localisation de TSS

II.2.1 La gamme des tubes fabriqués :

- ❖ Les « casing tubes » pour le coffrage des puits de pétrole ;
- ❖ Les « Line-pipe » pour le transport des hydrocarbures liquide et gazeux ;
- ❖ Les tubes pour usage hydraulique.

II.2.2 Caractéristiques techniques :

- ❖ La Tuberie fabrique tous ses tubes sans soudure selon les spécifications de l'API.
(American Petroleum Institute)-API 5L, API 5CT et API 5B.
- ❖ Nuance Grades B-X42-X52-X60 pour les pipelines et J55-K55-N80-P110 pour le casing (traité et non traité).

II.2.3 Principaux clients :

- Sonatrach
- Naftal
- Sonalgaz
- Altumet
- Anabib

La structure générale du complexe pour la fabrication de produit fini est comme suit :

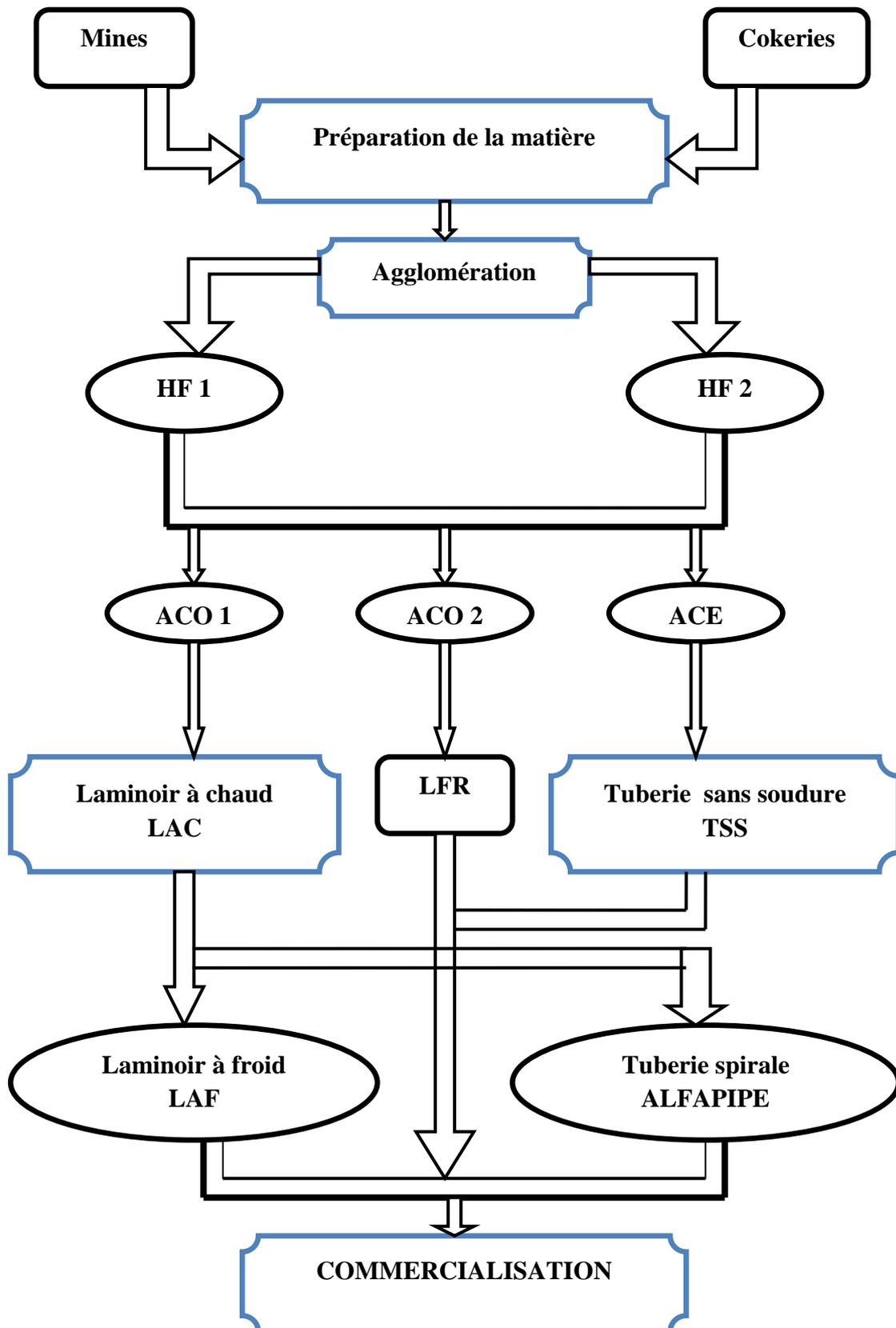


Figure II.2: Structure générale du complexe

II.3 Processus de fabrication des tubes :

Les tubes sont obtenus à partir des lingots d'acier de la forme dodécagonal et rond, provenant de l'aciérie électrique qui sont stockés dans le parc à lingots dans la TSS, ces lingots sont normalisés selon la norme API. La fabrication des tubes passent par deux ateliers :

II.3.1 Ateliers LAT (laminoir à tube) :

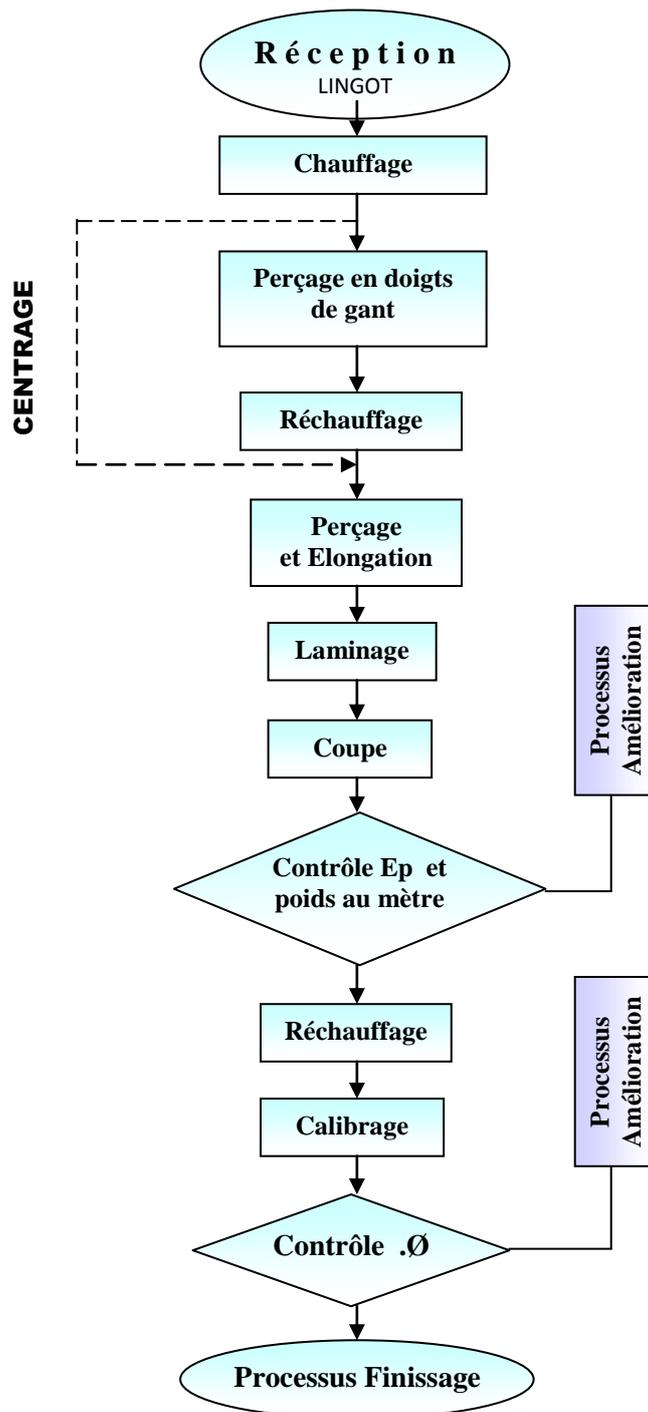


Figure II.3: Processus de réalisation laminage

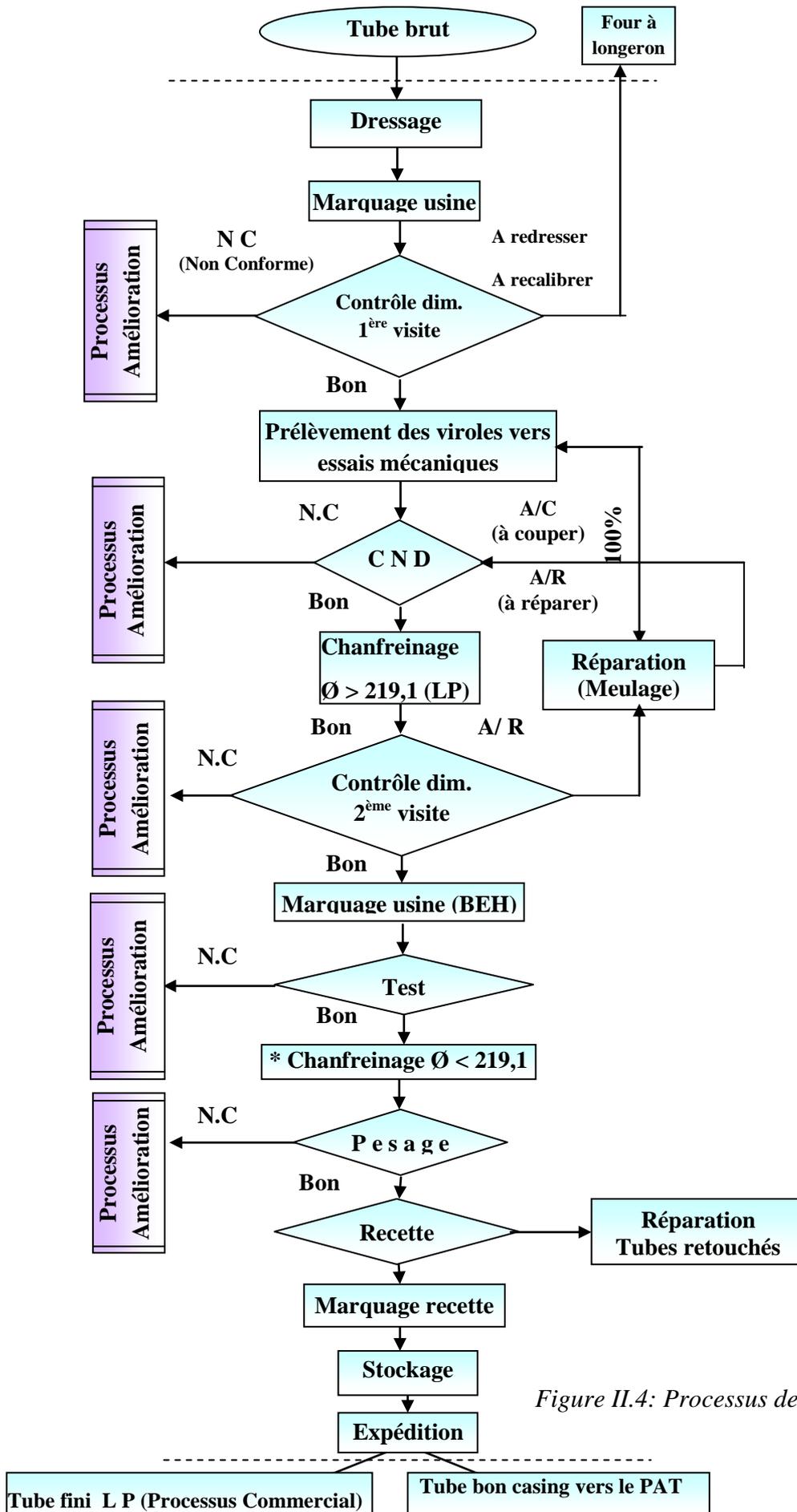


Figure II.4: Processus de finissage (LAT)

II.3.2 Atelier PAT (parachèvement à tube) :

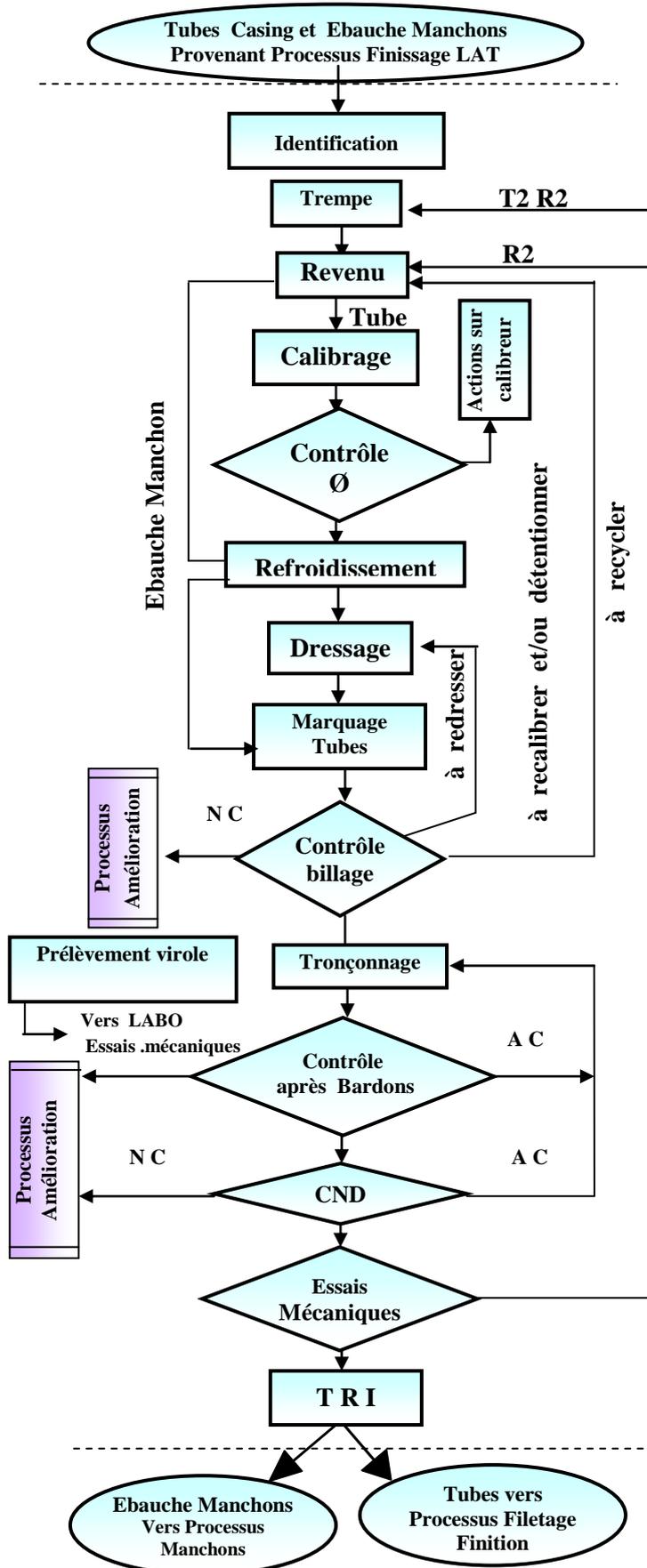


Figure II.5: Processus de Traitement Thermique /CND (PAT)

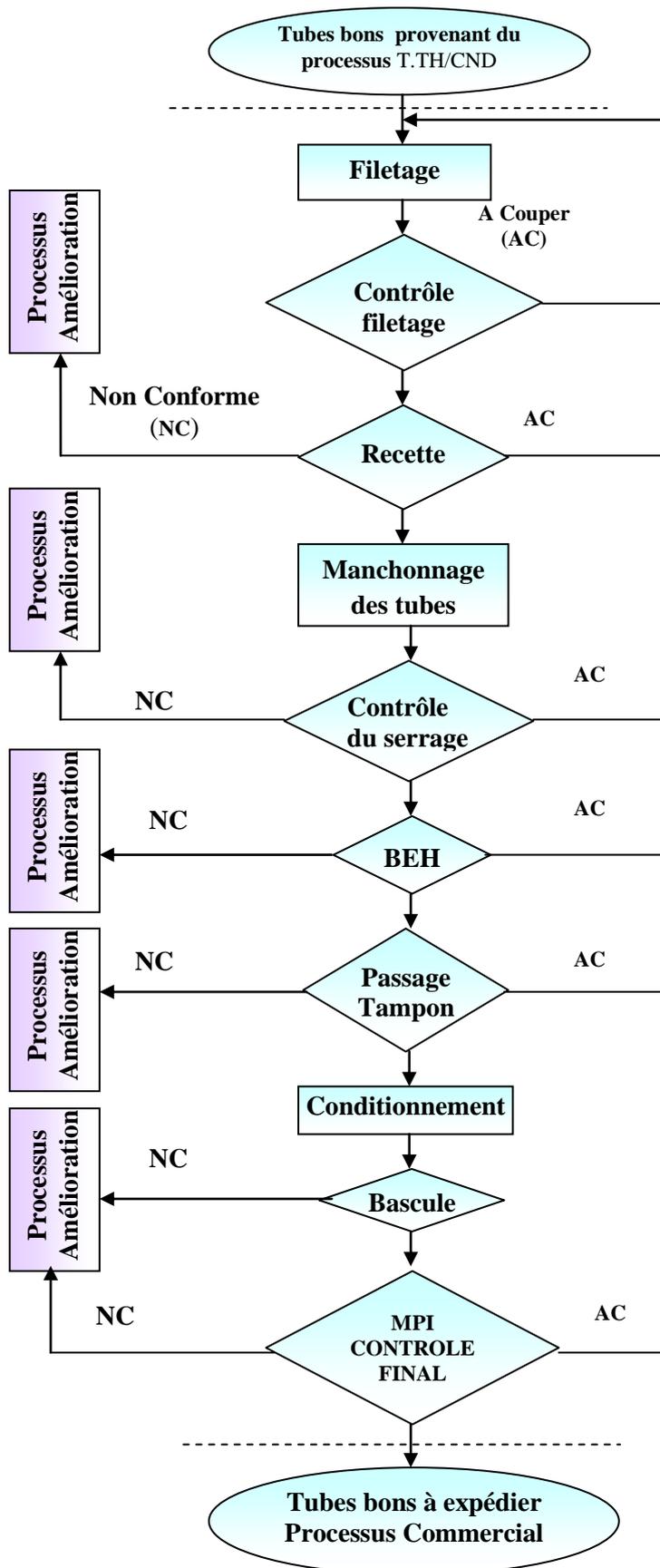


Figure II 6: Processus de Filetage – Finition

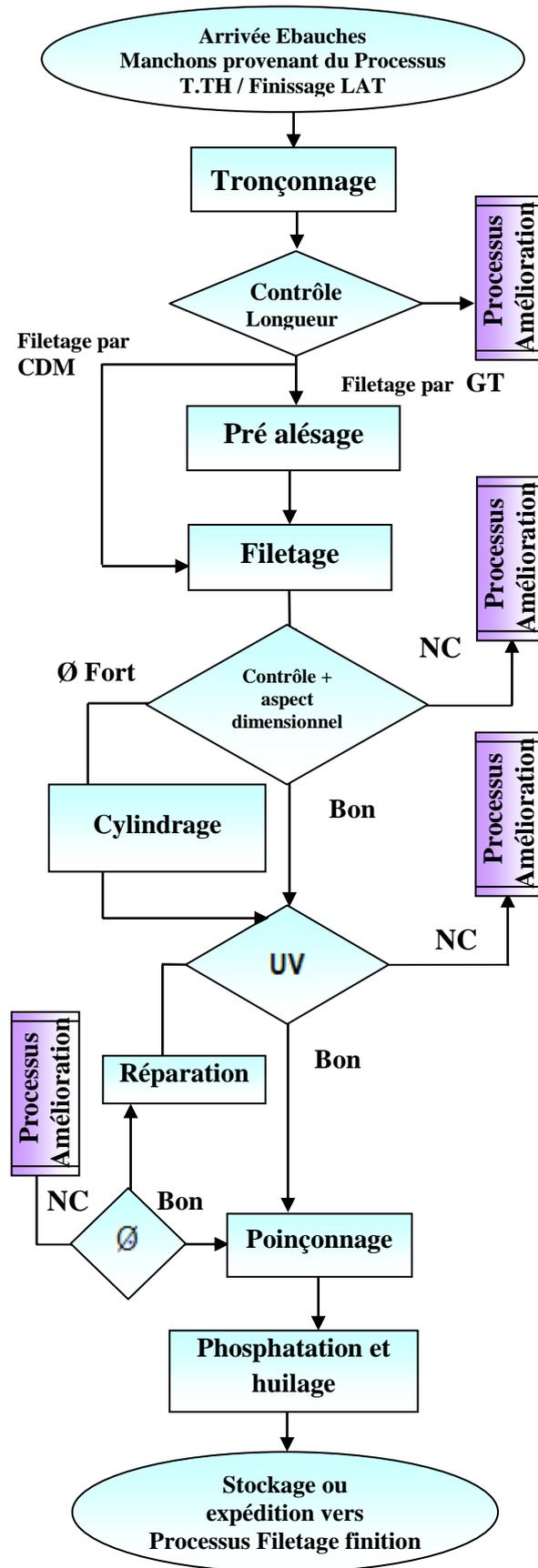


Figure II.7 : Réalisation des manchons

II.4 Dimension et épaisseur et masse des tubes :

II.4.1 CASING (selon la spécification API -5 CT) :

Diamètre nominal		Epaisseur	P/M	Type de filetage
En pouce	En mm	Mm	LB/ LF	
6" ^{5/8}	168,3	8,94	24,00	Selon spécification API
		10,59	28,00	
		12,06	32,00	
7"	177,8	6,91	20,00	Selon spécification API
		8,05	23,00	
		9,19	26,00	
		10,36	29,00	
		11,51	32,00	
		12,65	35,00	
		13,72	38,00	
7" ^{5/8}	193,7	9,52	29,70	Selon spécification API
		10,92	33,70	
		12,7	39,00	
		14,27	42,80	
		15,11	45,30	
		15,88	47,10	
8" ^{5/8}	219,1	8,94	32,00	Selon spécification API
		10,16	36,00	
		11,43	40,00	
		12,70	44,00	
		14,15	49,00	
9" ^{5/8}	244,5	7,92	32,30	Selon spécification API
		8,94	36,00	
		10,03	40,00	
		11,05	43,50	
		11,99	47,00	

		13,84	53,50	
		15,11	58,40	
10" ^{3/4}	273,1	8,89	40,50	Selon spécification API
		10,16	45,50	
		11,43	51,00	
		12,57	55,50	
		13,84	60,70	
		15,11	65,70	
13" ^{3/8}	339,7	9,65	54,50	Selon spécification API
		10,92	61,00	
		12,19	68,00	
		13,06	72,00	

Tableau II.1 : Tableau de dimension, épaisseur, masse pour les casings

II.4.2 LINE-PIPE (selon la spécification API -5L) :

Diamètre nominal		Epaisseur	
En pouce	En mm	Mm	LB/ LF
6" ^{5/8}	168,3	6,40	12,04
		7,10	18,99
		7,90	21,06
		8,70	23,1
		9,50	25,05
		11,00	28,6
		12,70	32,74
		14,30	36,43
		15,90	40,09
		18,30	47,39
		19,10	47,1
21,90	53,21		
8" ^{5/8}	219,1	6,40	22,38

		7,00	24,72
		8,20	27,73
		8,70	28,58
		9,50	30,45
		11,10	33,07
		12,70	38,33
		14,30	48,44
		15,90	53,45
		18,30	60,77
		19,30	63,14
		20,60	67,82
		22,20	72,49
10" ^{3/4}	273,1	7,10	31,23
		7,80	34,27
		8,70	38,27
		9,30	40,52
		11,10	48,28
		12,70	54,79
		14,30	61,21
		15,90	67,65
		18,30	77,10
		20,60	86,26
12" ^{3/4}	323,8	8,70	45,62
		9,50	49,61
		10,30	53,57
		11,10	57,65
		12,70	65,48
		14,30	73,22
		15,90	81,01
		17,50	88,71
		19,10	96,21
		20,60	103,63

14"	355,6	9,50	54,62
		10,30	59,00
		11,10	63,50
		11,90	67,84
		12,70	72,16
		14,30	80,73
		15,90	89,36
		17,50	97,91
		19,10	106,23

Tableau II.2: Tableau de dimension, épaisseur, masse pour les line pipes

II.5 Conclusion :

La qualité des tubes sans soudure fabriqué par TSS est basée sur le processus de fabrication et le bon réglage des machines par un contrôle périodique, dès la réception de la matière première (lingot) jusqu'au produit fini (tube).

Le respect des procédures contrôles, des normes, des références et des spécifications du client a permis à TSS de réserver sa place en tant que fournisseur potentiel dans le domaine de fabrication de canalisation sans soudure pour hydrocarbure du moins au niveau national.

III. Analyse de conformité des tubes

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons faire une étude sur l'analyse de conformité des tubes, cette étude est basée sur une analyse de relevé des épaisseurs sortis de laminoir par poste concernant la dimension **273,1 x 8,7 X 52**, commande N° 67041,01 pour les mois de décembre 2015.

Cette analyse, consiste à faire le test de **khi-deux**, pour vérifier es que les valeurs de l'échantillon suivent une loi normale ou non, si on trouve une loi normale c'est-à-dire que la machine de fabrication des tubes est fiable, si on trouve l'inverse on doit faire des interventions sur la machine pour maintenir et la rendre fiable.

Après le test de **khi-deux**, on va calculer le centrage des épaisseurs \bar{X} et la stabilité R et tracer leurs courbes des cartes de contrôle, et enfin calculer la capabilité de la machine.

III.2 Test de khi-deux :

Le test du Khi2 (khi deux ou khi carré) fournit une méthode pour déterminer la nature d'une répartition, qui peut être continue ou discrète.

III.2.1 Domaine d'application du test :

- Données qualitatives
- 2 ou plusieurs échantillons
- Dépendants ou indépendants
- Comparaison d'échantillons
- Recherche de liaison entre les données
- Recherche de l'influence d'une donnée autre que celle étudiée [12].

Ce que le test va nous dire c'est dans quelle mesure la différence est indépendante de l'échantillon choisi (et donc se retrouverait en général si l'on prenait n'importe quel autre échantillon). Pour cela on doit calculer l'expression suivante, que nous appellerons, faute d'une expression plus appropriée, le « khi-carré calculé » :

$$\chi^2_{\text{calculé}} = \sum \frac{(ni - Npi)^2}{Npi} \quad (III. 1)$$

III.3 les cartes de contrôle :

Les cartes de contrôle sont des outils graphiques utilisés pour le suivi de la production qui permettent la détection des causes spéciales de dysfonctionnement. Il existe à l'heure actuelle deux catégories principales des cartes de contrôle : les cartes de contrôle par mesures, destinées au traitement des données au caractère quantitatif et les cartes de contrôle par attributs, destinées au traitement des paramètres non mesurables. Ces derniers sont des paramètres qui ne peuvent pas être exprimés par une mesure physique, tel qu'un diamètre, un poids, une température, etc., mais elles sont généralement décrites en utilisant des indicateurs qualitatifs, qui dans la plupart des cas prennent deux valeurs seulement (bon/mauvais, conforme/non conforme, succès/échec).

Les cartes de contrôle classiques (comme la carte (X, R) de Shewhart ou les cartes EWMA et CUSUM) traitent le cas uni-varié (une seule caractéristique est surveillée). À mesure qu'on prélève des échantillons on obtient une image graphique de l'évolution du processus (figure 1.1). Pour simplifier, on considère que le processus est sous contrôle si les points sont entre les limites de contrôle. Si on aperçoit un point qui est situé à l'extérieur des limites de contrôle (LIC - limite de contrôle inférieure, LSC - limite de contrôle supérieure, voir figure 1.1), le processus n'est plus sous contrôle et il faut intervenir pour remédier à cet aspect. L'intervalle de tolérance spécifié par l'utilisateur n'a rien à voir avec l'intervalle de variation naturelle d'un processus. En effet, l'intervalle de variation naturelle représente la différence entre LSC et LIC qui se calculent en fonction de la carte de contrôle choisie. « Norme ISO 8258 » [13].

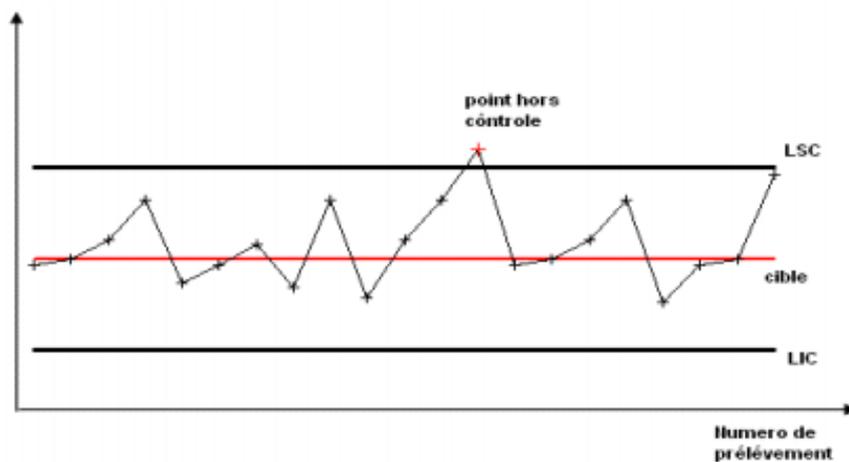


Figure III.1: Exemple d'une carte de contrôle par mesures

III.4 Application :**III.4.1 Mise en application du test de khi-deux :**

J'ai pris 20 échantillons des épaisseurs des tubes, chaque échantillon comprend 10 valeurs.

Valeur théorique API :

Epaisseur maximum : 10 mm

Epaisseur minimum : 8.61 mm

Moyenne visée au laminage : 8.7 mm

EP/Ech	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
1	8,7	8,5	8,7	8,7	9,0	8,8	8,2	8,7	8,5	8,5
2	8,8	9,0	9,0	9,3	10,2	10,0	9,1	9,4	8,7	9,2
3	9,0	9,3	9,1	9,4	9,7	9,4	9,2	9,6	8,7	9,2
4	9,3	9,9	9,6	9,9	10,0	10,0	9,8	9,8	8,9	9,2
5	9,4	10,0	10,3	9,8	9,7	10,0	10,5	10,0	7,0	10,0
6	9,5	10,0	10,3	9,6	9,5	10,0	10,7	10,5	7,3	9,2
7	9,7	9,5	9,8	9,4	10,0	10,2	10,0	10,9	10,7	9,5
8	9,1	9,0	9,2	8,7	9,3	9,6	9,7	10,0	10,7	9,2
9	9,4	9,0	9,0	9,0	9,3	9,5	9,2	9,5	10,1	9,2
10	9,3	8,7	9,4	9,2	9,2	9,0	9,2	8,7	10,0	9,6

E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	E18	E19	E20
8,5	9,0	9,2	8,5	8,7	9,0	9,0	9,4	8,9	9,0
8,6	9,2	9,3	9,2	9,5	9,5	9,0	9,4	9,0	9,3
7,6	9,7	9,3	9,5	9,2	9,2	9,4	9,7	9,0	9,8
10,0	10,0	9,7	10,0	9,3	9,8	9,7	9,7	9,5	9,5
10,5	10,2	9,5	10,0	9,3	9,7	9,3	10,4	9,1	9,6
9,8	9,5	9,5	10,0	10,0	9,3	9,5	9,5	9,3	9,6
10,0	9,5	9,6	9,7	10,2	9,7	9,5	10,0	9,1	9,7
9,7	9,4	9,8	9,2	9,3	9,8	9,3	10,0	9,7	10,7
9,1	9,1	9,6	9,2	9,5	10,0	9,3	10,0	9,7	10,0
8,7	9,8	9,8	8,7	9,0	10,0	9,0	10,5	9,2	9,8

Tableau III.1: Tableau des épaisseurs

- ✓ Faire classer les épaisseurs :

L'écart type	0,57
La moyenne	9,4
Max	10,9
Min	7,0
Etendue	3.9
La somme	1889,3
Nombre d'échantillons	200

Tableau III.2: Tableau des calculs

- ✓ Calcul de nombre de classes et l'amplitude :

$$r = \sqrt{200} = 14 \quad , \quad a = \frac{e}{r} = \frac{3.9}{14} = 0.3mm$$

Ensuite, nous devons choisir la probabilité de fiabilité du test : 5% de chances de se tromper, 1% ou 1 pour 1000. Nous allons choisir 5%, soit $P = 0,05$.

- ✓ Calculer le degré de liberté :

$$\gamma = r - k - 1 ; \quad k = 2 \quad (III.2)$$

$$\gamma = 14 - 2 - 1 = 11$$

Nous avons donc 11 degrés de liberté et un niveau de confiance du test de $P=0,05$. Par conséquent, nous voyons dans la table que le khi-deux théorique est égal à :

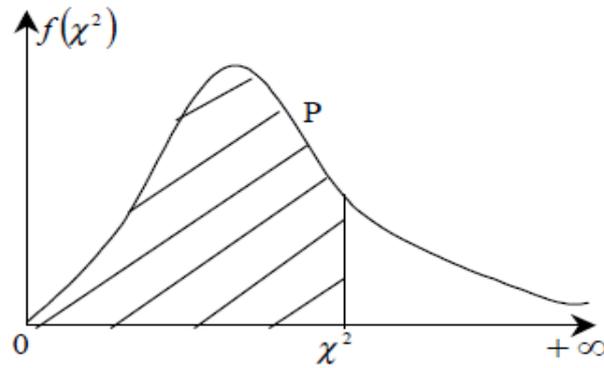
$$\chi^2_{11;0.05} = 4,575$$

- ✓ Calculer la capabilité de la machine :

$$Cm = \frac{T_s - T_i}{6\sigma} \quad (III. 3)$$

$$Cm = \frac{10 - 8.61}{6 \times 0.57}$$

$$Cm = 0.41 < 1.33$$



ddl/P	0,5%	1,0%	2,5%	5,0%	10,0%	50,0%	90,0%	95,0%
1	0,000	0,000	0,001	0,004	0,016	0,455	2,706	3,841
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	1,386	4,605	5,991
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	2,366	6,251	7,815
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	3,357	7,779	9,488
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	4,351	9,236	11,070
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	5,348	10,645	12,592
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	6,346	12,017	14,067
8	1,344	1,647	2,180	2,733	3,490	7,344	13,362	15,507
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	8,343	14,684	16,919
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	9,342	15,987	18,307
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	10,341	17,275	19,675
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	11,340	18,549	21,026
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,041	12,340	19,812	22,362
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	13,339	21,064	23,685

Tableau III.3: Tableau de khi-deux [14]

Classes	ni	U	F(u)	pi	Npi	(ni-Npi) ²	(ni-Npi) ² /Npi
[7,0-7,3[	1	-4,21052632	0,0001	0,0001	0,02	0,96	48,02
[7,3-7,6[	1	-3,68421053	0,0002	0,0005	0,10	0,81	8,10
[7,6-7,9[	1	-3,15789474	0,0007	0,0036	0,72	0,08	0,11
[7,9-8,2[	0	-2,63157895	0,0043	0,0136	2,72	7,40	2,72
[8,2-8,5[	1	-2,10526316	0,0179	0,0403	8,06	49,84	6,18
[8,5-8,8[	18	-1,57894737	0,0582	0,0887	17,74	0,07	0,00
[8,8-9,1[	22	-1,05263158	0,1469	0,1546	30,92	79,57	2,57
[9,1-9,4[	44	-0,52631579	0,3015	0,1985	39,70	18,49	0,47
[9,4-9,7[	39	0	0,5	0,1985	39,70	0,49	0,01
[9,7-10,0[	30	0,52631579	0,6985	0,1546	30,92	0,85	0,03
[10,0-10,3[	31	1,05263158	0,8531	0,0887	17,74	175,83	9,91
[10,3-10,6[	7	1,57894737	0,9418	0,0403	8,06	1,12	0,14
[10,6-10,9[	4	2,10526316	0,9821	0,0136	2,72	1,64	0,60
[10,9-11,2[	1	2,63157895	0,9957	0,0035	0,70	0,09	0,13
	200	3,15789474	0,9992				5,64

Tableau III.4 : Tableau des calculs de test de khi-deux

Il nous reste maintenant à comparer le khi-deux théorique issu de la table (4.575) avec le khi-deux calculé (5.64 environ) :

$$\chi^2_{11;0.05} = 4.575 < \chi^2_{calculé} = 5.64$$

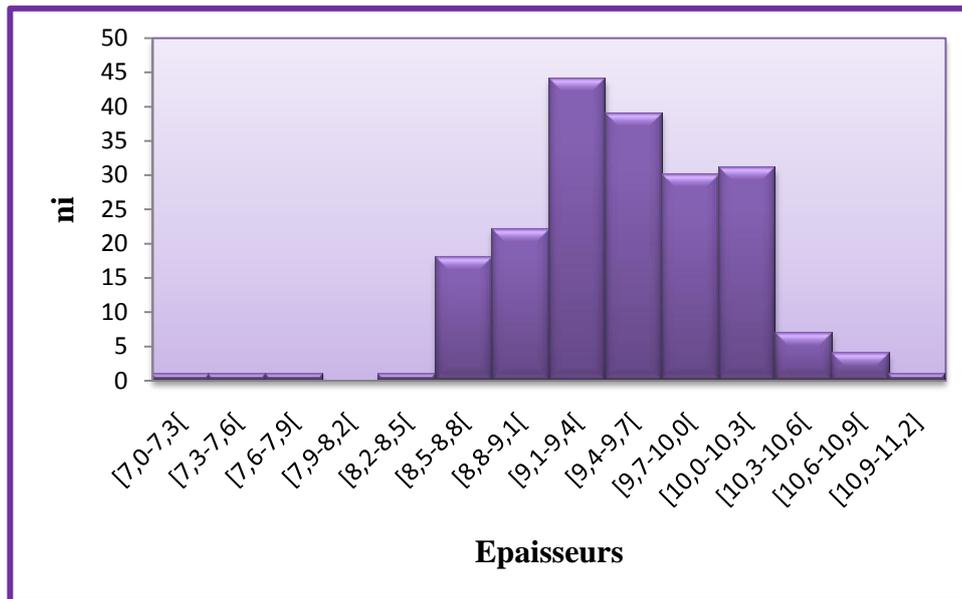


Figure III.2 : La distribution observée des échantillons

III.4.2 Analyse de relevé des épaisseurs des tubes sortis du laminoir :

L'analyse est basée sur le relevé des épaisseurs que j'ai pu collecter au sein de la division tuberie sans soudure, qui est située dans le complexe D'EL HADJAR, avec l'aide des responsables du département technique.

En s'appuyant sur le test de khi-deux et la distribution observée, on conclut que les valeurs des échantillons ne suivent pas une loi normale, et d'après le résultat de la capacité de la machine, on déduit que la machine a une dégradation.

J'ai remarqué aussi que **89 %** des valeurs sont au dessus de la moyenne visée, par rapport à **200** valeurs avec une plage de **3.9 mm**.

Après ces mauvais résultats, l'unité TSS fait des opérations de maintenance au niveau des machines défectueuses dans un but de leur réglage.

✓ **Recommandations :**

- Respecter la moyenne visée au laminoir **8.7mm**
- Signaler sur le relevé d'épaisseur les éventuelles corrections prises durant le poste et surtout en présence d'excentrations.
- Ecarter les mandrins douteux
- Eviter de laminier les ébauches froides.

✓ **Suivi des pièces entièrement perdues au niveau du laminoir :**

		 SUIVI LAMINOIR													
		Date													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
PROCESS	Production	Formats	273,1 x 8,74 X52 Q TRC SONATRACH												
		Consommation	33	43	65	52	54			34	59	34	39	8	
		Production	32	42	65	52	54			34	59	34	39	7	
		PEP	1	1	0	0	0			0	0	0	0	1	
		Taux PEP (%)	3,0	2,33	0,00	0,00	0,0			0,0	0,00	0,00	0,0	12,5	
		Faits Marquants													
	Arrêts	Process	Fab	2,0	2,00	1,25	1,66	1,00			1,9	2,33	2,00	2,16	
			EEM	1,3	2,00	0,50	1,50	0,66			1,8	0,33	2,20	1,08	
			Autres	1,5	0,00			1,20							7,5
			chauf matrice												
			remplis F à P												
			chgt tige												
			chgt cyl sup												
			chgt cyl lat												
			chgt mandrin												
chgt K7								1,00							
réglage axe		0,50						0,50			0,50				
contrôle Ep	0,3	0,33	0,33	0,33	0,33			0,33	0,33		0,33				

			chgt L. de scie	0,0													
			meulage cyl	0,0		0,50	0,50					0,25		0,25			
			Cumul Arrêts process	0,25	0,83	0,83	0,83	0,33				1,83	0,58	0,00	1,08	0,00	
			Cumul Arrêts	5,00	4,83	2,58	3,99	3,19				5,43	3,24	4,20	4,32	7,50	
			Temps disponible	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0				8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	
			K (%)	76,4	94,91	85,91	92,89	85,0				85,0	88,8	64,1	75,9	100,3	
			TU (%)	37,5	39,63	67,75	50,13	60,1				32,1	59,5	47,5	46,0	6,3	
			Cadence (Pce/h)	10,7	13,2	12,0	13,0	11,2				13,2	12,4	8,9	10,6	14,0	
			MTD	Outillages à chaud	P à P	CC	1										
						Bouchon	1										
Matrice N°1	33	43				65	52	54			34	59	34	39	8		
LO	Cyl lat N°1+2																
	Cyl sup N° 4																
	Patin																
K7	Tête lo							1				1	1	1			
	N°	4			3							4					
	Ø de table	749			761							749					
	nbre d'opé	32			42							34	59	34	39	7	
Mandrins (Ø228 ; Ø 262)	nbre de chgt																
		10			10							10		10	10	10	
Lame de scie	chgt																
	nbre d'opé																
Calibreur	N° de jeu																
	Ø de table																
	nbre d'opération	64	84	130	104	108				68	118	68	78	14			
	nbre de chgt																

Tableau III.5 : Tableau de suivi du laminoir

Spécialité	Nbr d'inter	Taux %
Exploitation	7	51,9
Maintenance	6,5	48,1
TOTAL	13,5	1,7

Tableau III.6 : Tableau de suivi PEP par spécialité



Figure III.3 : Taux de PEP par spécialité

Causes		Nbre	Taux
EXP	La Mortaise mandrin Ø 228	5	71,43
	Fausse manœuvre couloir de sortie LP	2	28,57
MN	Moteur électrique LP	2	30,77
	Table d'éjection mandrin	1	15,38
	Pont à pince	2	30,77
	Appareil mécanique	0,5	7,692
	Cisaillement goupille	1	15,38

Tableau III.7 : Tableau de suivi PEP par cause

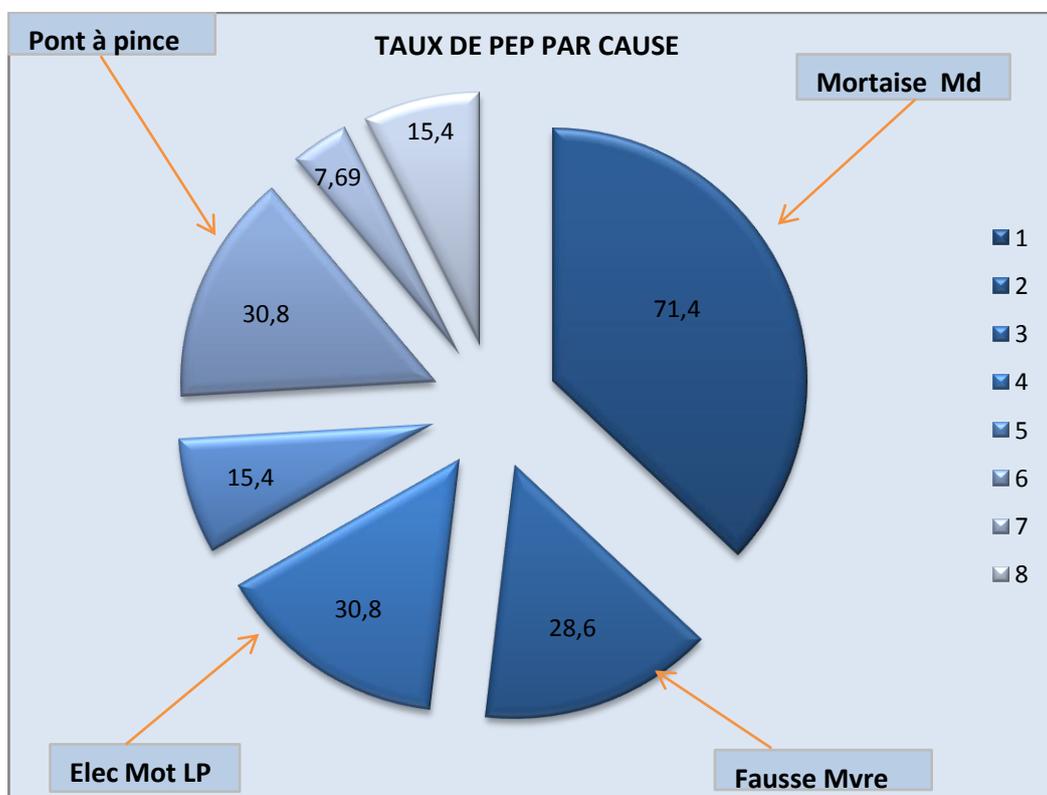


Figure III.4 : Taux de PEP par cause

III.4.3 Mise en application du test de khi-deux :

Après les interventions faites pour régler le laminoir, j'ai pris encore 20 échantillons de relevé des épaisseurs des tubes, et chaque échantillon comprend 10 valeurs.

La dimension : **273,1 x 8,7 X 52**

Valeur théorique API :

Epaisseur maximum : 15.11mm

Epaisseur minimum : 7.92mm

Moyenne visée au laminoir : 8.7 mm

Le calcul du nombre de classes et l'amplitude et le calcul du degré de liberté est fait de la même manière que précédemment.

Le khi-deux théorique est égal à : $\chi^2_{11;0.05} = 4,575$

L'écart type	0,677
La moyenne	9,3
Max	7,0
Min	11,2
Etendue	3,9
La somme	1856,7
Nombre d'échantillon	200

Tableau III.8 : Tableau des calculs

✓ **Calcul de la capacité de la machine :**

$$Cm = \frac{T_s - T_i}{6\sigma} \quad (III. 4)$$

$$Cm = \frac{15.11 - 7.92}{6 \times 0.677}$$

$$Cm = 1,77 > 1.33$$

Nous pouvons alors conclure que la machine est capable c'est-à-dire qu'elle produit des pièces conformes.

Classes	Ni	U	F(u)	pi	Npi	(ni-Npi) ²	(ni-Npi) ² /Npi
[7,0-7,3[	1	-4,21052632	0,0001	0,0001	0,02	0,96	48,02
[7,3-7,6[	1	-3,68421053	0,0002	0,0005	0,10	0,81	8,10
[7,6-7,9[	1	-3,15789474	0,0007	0,0036	0,72	0,08	0,11
[7,9-8,2[	6	-2,63157895	0,0043	0,0136	2,72	10,76	3,96
[8,2-8,5[	16	-2,10526316	0,0179	0,0403	8,06	63,04	7,82
[8,5-8,8[	20	-1,57894737	0,0582	0,0887	17,74	5,11	0,29
[8,8-9,1[	31	-1,05263158	0,1469	0,1546	30,92	0,01	0,00
[9,1-9,4[	40	-0,52631579	0,3015	0,1985	39,70	0,09	0,00
[9,4-9,7[	32	0	0,5	0,1985	39,70	59,29	1,49
[9,7-10,0[	21	0,52631579	0,6985	0,1546	30,92	98,41	3,18
[10,0-10,3[	14	1,05263158	0,8531	0,0887	17,74	13,99	0,79
[10,3-10,6[	10	1,57894737	0,9418	0,0403	8,06	3,76	0,47
[10,6-10,9[	6	2,10526316	0,9821	-0,0664	-13,28	371,72	-27,99
[10,9-11,2]	1	2,63157895	0,9157	0,0835	16,70	246,49	14,76
	200	3,15789474	0,9992				4,357

Tableau III.9: Tableau des calculs de test de khi-deux

La comparaison de khi-deux théorique et le khi-deux calculé :

$$\chi^2_{11;0,05} = 4.575 > \chi^2_{calculé} = 4.357$$

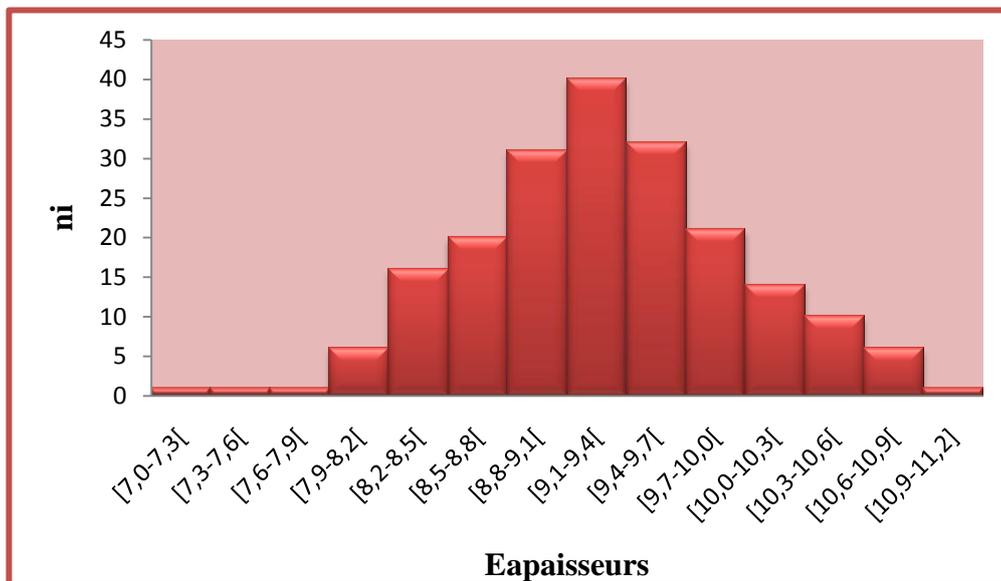


Figure III.5 : La distribution observée des échantillons

III.4.4 Analyse de relevé des épaisseurs des tubes sortis du laminoir :

En s'appuyant sur le test de khi-deux et la distribution observée, on conclut que les valeurs des échantillons suivent une loi normale, et d'après le résultat de la capacité de la machine, on déduit que tout le système de fabrication est en bon état, c'est-à-dire qu'il est correct.

III.4.5 Les cartes de contrôle :

La carte montre le graphique des valeurs au fil du temps (échantillon par échantillon)

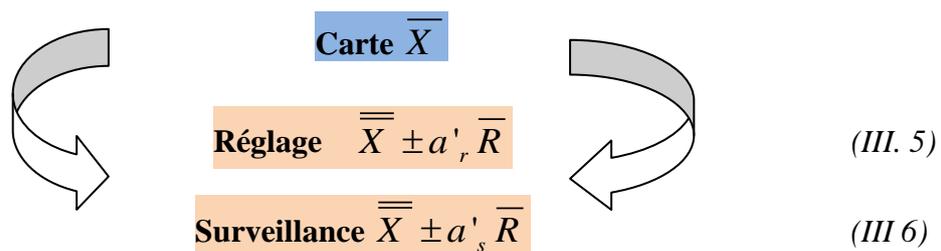
Pour chaque carte, on calcule des limites supérieures et inférieures (à l'intérieur des tolérances)

- ✓ On analyse le comportement des valeurs (la manière dont elles évoluent)
- ✓ On en tire des conclusions sur l'efficacité de la production.

On calcule également la moyenne des moyennes et la moyenne des étendues :

$$\bar{\bar{X}} = 9.3 \quad \text{Et} \quad \bar{R} = 2.2$$

III.4.5.1 Calcul des limites supérieure et inférieure pour la carte de la moyenne :



De la table, on obtient les constantes suivantes (pour une taille d'échantillon de 10) :

Taille de l'échantillon	Carte des moyennes		Carte des étendues			
	Réglage	Surveillance	Réglage		Surveillance	
n	a'_r	a'_s	$d'_{r(i)}$	$d'_{r(s)}$	$d'_{s(i)}$	$d'_{s(s)}$
2	1,937	1,229	0,00	4,12	0,04	2,81
3	1,054	0,668	0,04	2,99	0,18	2,17
4	0,75	0,476	0,10	2,58	0,29	1,93
5	0,594	0,377	0,16	2,36	0,37	1,81
6	0,498	0,316	0,21	2,22	0,42	1,72
7	0,432	0,274	0,26	2,12	0,46	1,66
8	0,384	0,244	0,29	2,04	0,50	1,62
9	0,347	0,22	0,32	1,99	0,52	1,58
10	0,317	0,202	0,35	1,94	0,54	1,56

Tableau III.10 : Table des constantes (moyenne et écart-type inconnus)

✓ Limite pour les moyennes :

De réglage	De surveillance
$9,3 + (0,317 \times 2,2) = 9,981$	$9,3 + (0,202 \times 2,2) = 9,728$
$9,3 - (0,317 \times 2,2) = 8,586$	$9,3 - (0,202 \times 2,2) = 8,839$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Moyenne x	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
LMRi	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586
LMRs	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981
LMSi	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839
LMSs	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728
Moy échantillon	9,0	9,5	9,2	9,4	9,2	9,4	9,2	9,4	9,2	9,4

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
8,586	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586	8,586
9,981	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981	9,981
8,839	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839	8,839
9,728	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728	9,728
9,3	9,3	9,1	9,3	9,6	9,4	8,9	9,8	9,0	9,3

Tableau III.11 : Tableau des limites pour les moyennes

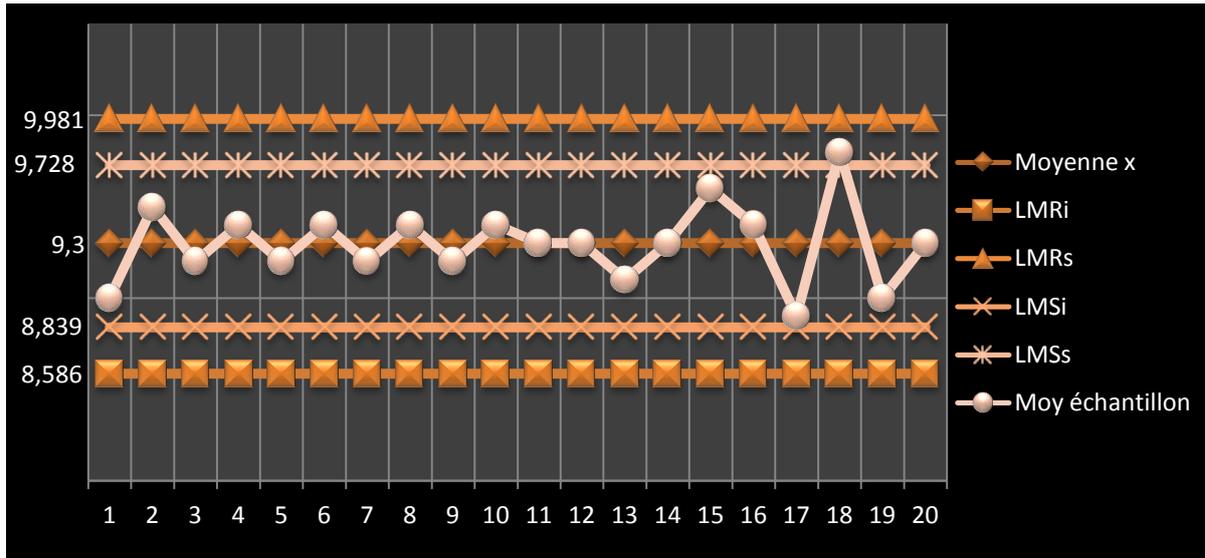
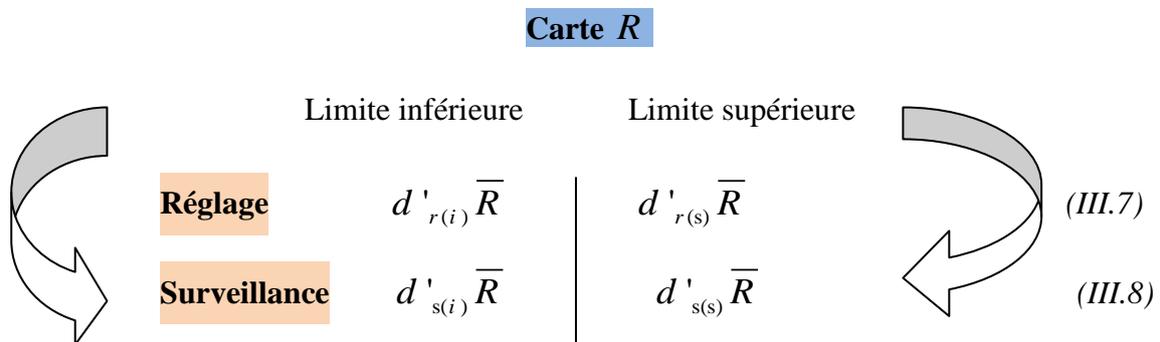


Figure III.6 : Courbe de carte de contrôle des moyennes

✓ **Analyse de la carte de contrôle des moyennes :**

Dans cette courbe, il y'a quatre points, qui sont trop rapprochés de la limite de contrôle, et un seul point qui dépasse la limite de contrôle, on peut affirmer qu'il est nécessaire de régler le laminoir.

III.4.5.2 Calcul des limites supérieure et inférieure pour la carte de l'étendue :



De la table, on obtient les constantes suivantes (pour une taille d'échantillon de 10) :

Taille de l'échantillon	Carte des moyennes		Carte des étendues			
	Réglage	Surveillance	Réglage		Surveillance	
n	a'_r	a'_s	$d'_{r(i)}$	$d'_{r(s)}$	$d'_{s(i)}$	$d'_{s(s)}$
2	1,937	1,229	0,00	4,12	0,04	2,81
3	1,054	0,668	0,04	2,99	0,18	2,17
4	0,75	0,476	0,10	2,58	0,29	1,93
5	0,594	0,377	0,16	2,36	0,37	1,81
6	0,498	0,316	0,21	2,22	0,42	1,72
7	0,432	0,274	0,26	2,12	0,46	1,66
8	0,384	0,244	0,29	2,04	0,50	1,62
9	0,347	0,22	0,32	1,99	0,52	1,58
10	0,317	0,202	0,35	1,94	0,54	1,56

Tableau III.12 : Table des constantes (moyenne et écart-type inconnus)

✓ Limite pour les étendues :

De réglage	De surveillance
$0,35 \times 2,2 = 0,770$	$0,54 \times 2,2 = 1,188$
$1,94 \times 2,2 = 4,268$	$1,56 \times 2,2 = 3,432$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Moyenne R	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
LERi	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770
LERs	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268
LESi	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188
LEsS	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432
R échantillon	2,4	1,8	2,3	2,9	2,0	2,1	2,2	3,0	2,4	3,3

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770
4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268
1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188	1,188
3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432
2,1	1,9	2,2	1,8	2,5	2,1	1,7	1,7	1,8	2,1

Tableau III.13: Tableau des limites pour les étendues

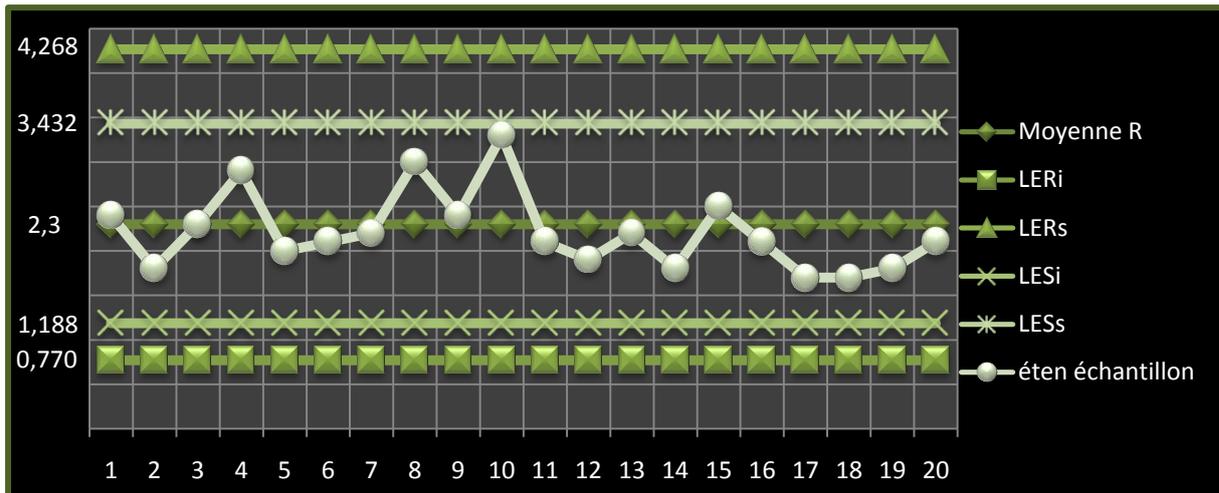


Figure III.7 : Courbe de carte de contrôle des étendues

✓ **Analyse de la carte de contrôle des moyennes :**

Dans cette courbe, il y a qu'un seul point, qui est trop rapproché de la limite de contrôle, et tous les autres points sont entre les limites de surveillance.

III.5 Conclusion :

L'Atelier TSS (tuberie sans soudure), dans lequel a été effectuée notre étude, réalise un certain nombre de tests qualité sur sa production. Dans le cas des tubes destinés au transport des hydrocarbures, l'objectif était d'accéder à la conformité des tubes, en basant sur l'analyse de test de khi-deux et les cartes de contrôle. Nous avons proposé des cartes de contrôle pour le suivi des épaisseurs.

IV. La maintenance et les pipelines

IV.1 Préambule :

Face à l'évolution de l'environnement économique du marché de tubes à usage dans le domaine des hydrocarbures, caractérisé par la concurrence, l'exigence des clients et l'accélération des changements notamment dans la réglementation et la protection de l'environnement ; la TSS doit accroître sa compétitivité, renforcer sa flexibilité et améliorer ses résultats, ainsi le processus maintenance joue un rôle très important dans la satisfaction de ces exigences car l'« Ensemble des actions permettant de maintenir ou rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé * » est le seul chemin pour répondre à ces attentes.

Nous proposons une procédure de maintenance préventive qu'il est nécessaire de suivre pour une maintenance efficace.

IV.2 But :

Cette procédure a pour but de définir les Méthodes, Outils, Démarche et Opérations de la maintenance Préventive et Corrective de la TSS.

IV.3 Domaine d'application :

Cette procédure s'applique aux différents services de Méthodes, Technique et Intervention de la Maintenance.

- ✓ Service d'intervention mécanique laminage.
- ✓ Service d'intervention électrique laminage.
- ✓ Service d'intervention machines outils -ponts roulants et éclairage.
- ✓ Service d'intervention mécanique finissage –parachèvement et salle des pompes.
- ✓ Service d'intervention électrique parachèvement-manchon et machines outils.

IV.4 Personnel :

Cette procédure s'applique à tout le personnel de la Maintenance dans les différents services :

- ✓ Service Méthodes
- ✓ Service Technique
- ✓ Services d'Interventions

IV.5 Moyens nécessaires :

- ✓ Découpage comptable
- ✓ Répertoire des plans

- ✓ Dossiers machines
- ✓ Imprimés de maintenance

IV.6 Synoptique et Type de Maintenance :

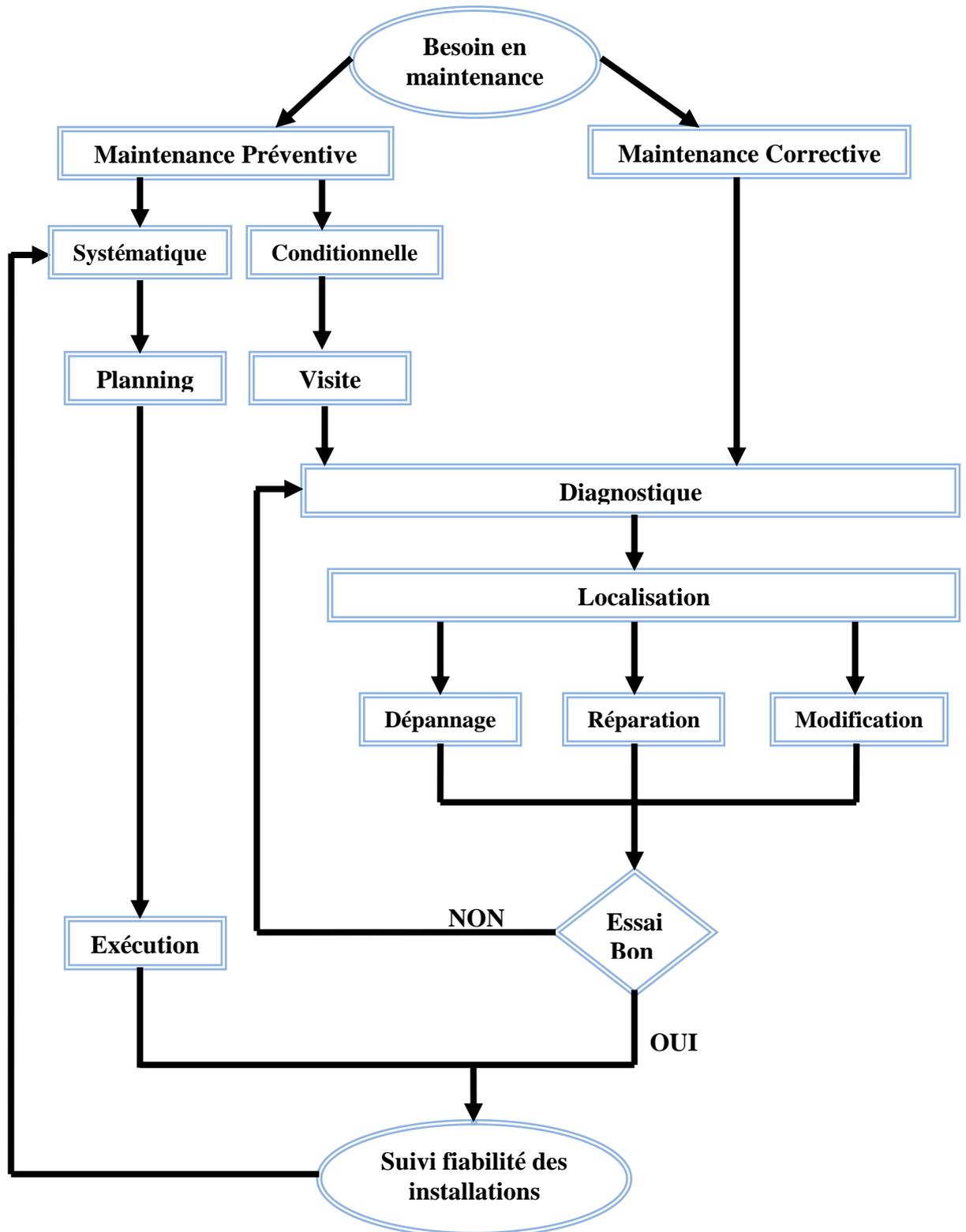


Figure IV.1: Schéma de synoptique et type de maintenance

IV.7 Arbre de défaillance du pipeline :

Parfois, la classification des défaillances d’une structure s’aperçoit une phase cruciale, afin de se focaliser l’étude sur celles qui ont un impact grave sur la fiabilité de l’ouvrage étudié. Pour ce faire, nous avons choisi d’utiliser l’arbre de défaillance qui est un outil très répandu afin d’atteindre cet objectif. Dans ce qui suit, une brève explication de la démarche de l’outil est présentée.

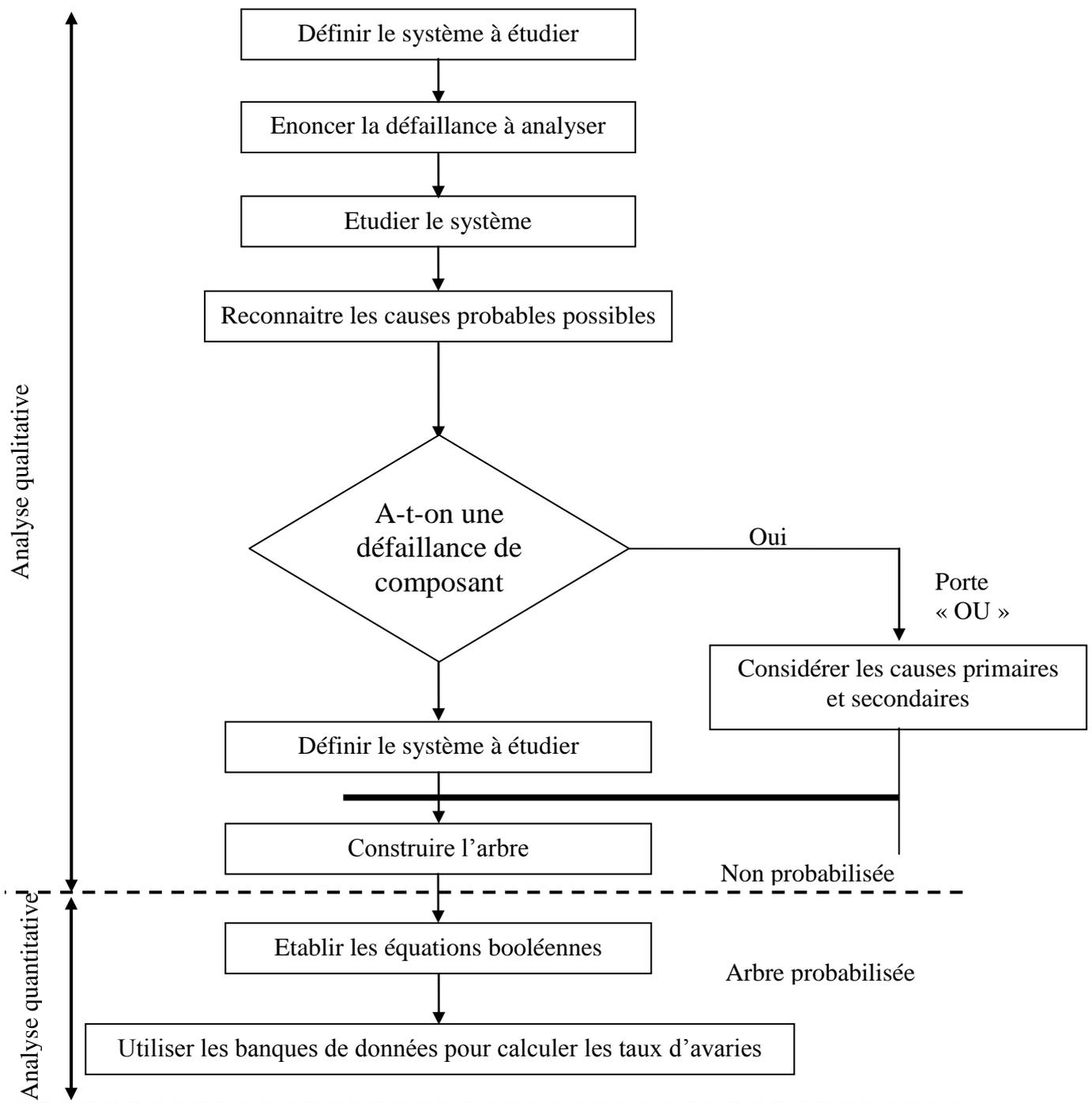
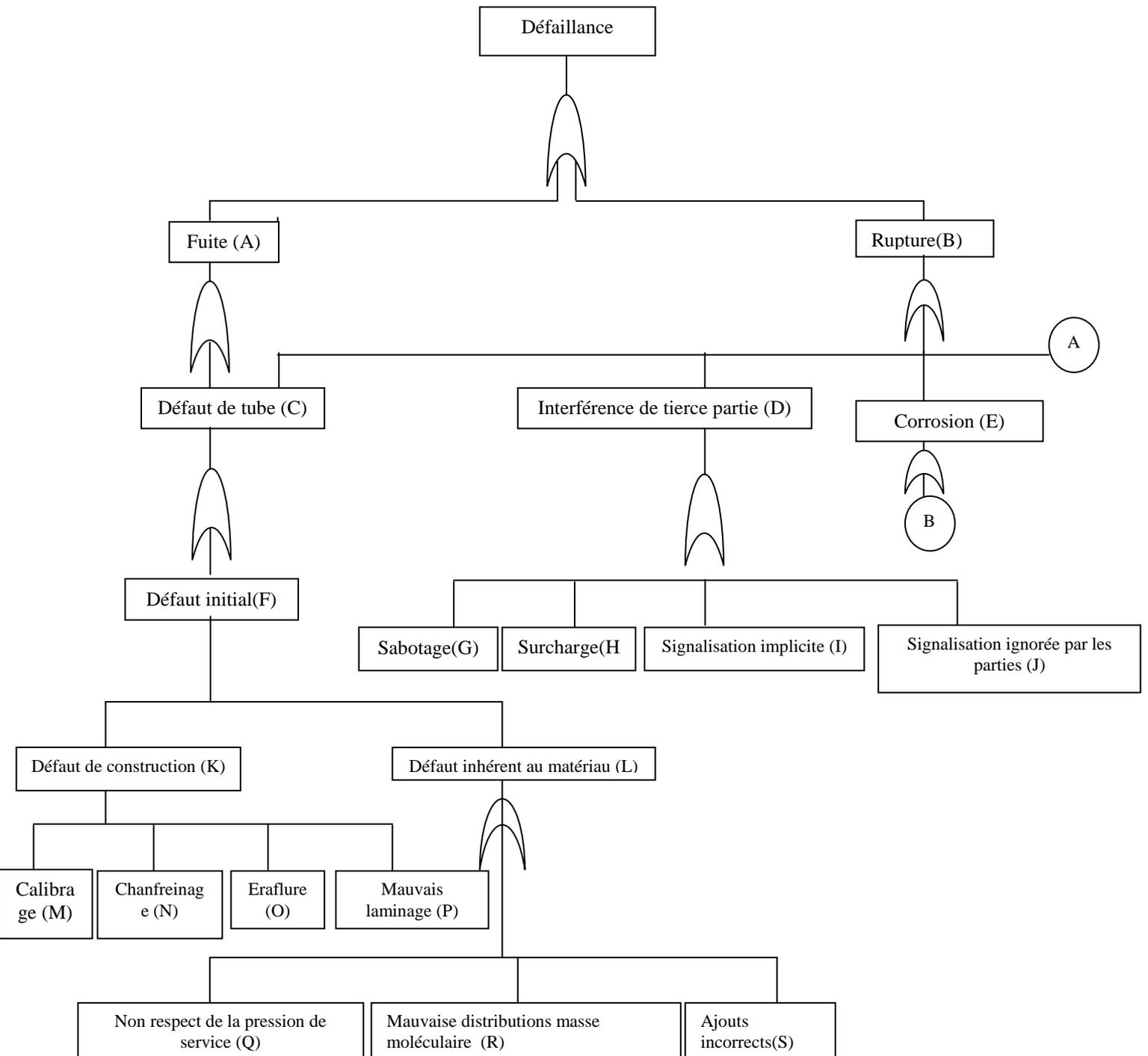


Figure IV.2 : Démarche à suivre pour construire un arbre de défaillances

Donc, l'élaboration d'un arbre de défaillance comporte deux volets essentiels, le premier est qualitatif et un deuxième quantitatif. Effectivement, nous avons analysé les différentes défaillances qui ont pratiquement une influence directe sur la fiabilité des pipelines. Et sur ce, un arbre de défaillance de ces derniers a été construit, tout en commençant par l'analyse qualitative (figure IV.3).



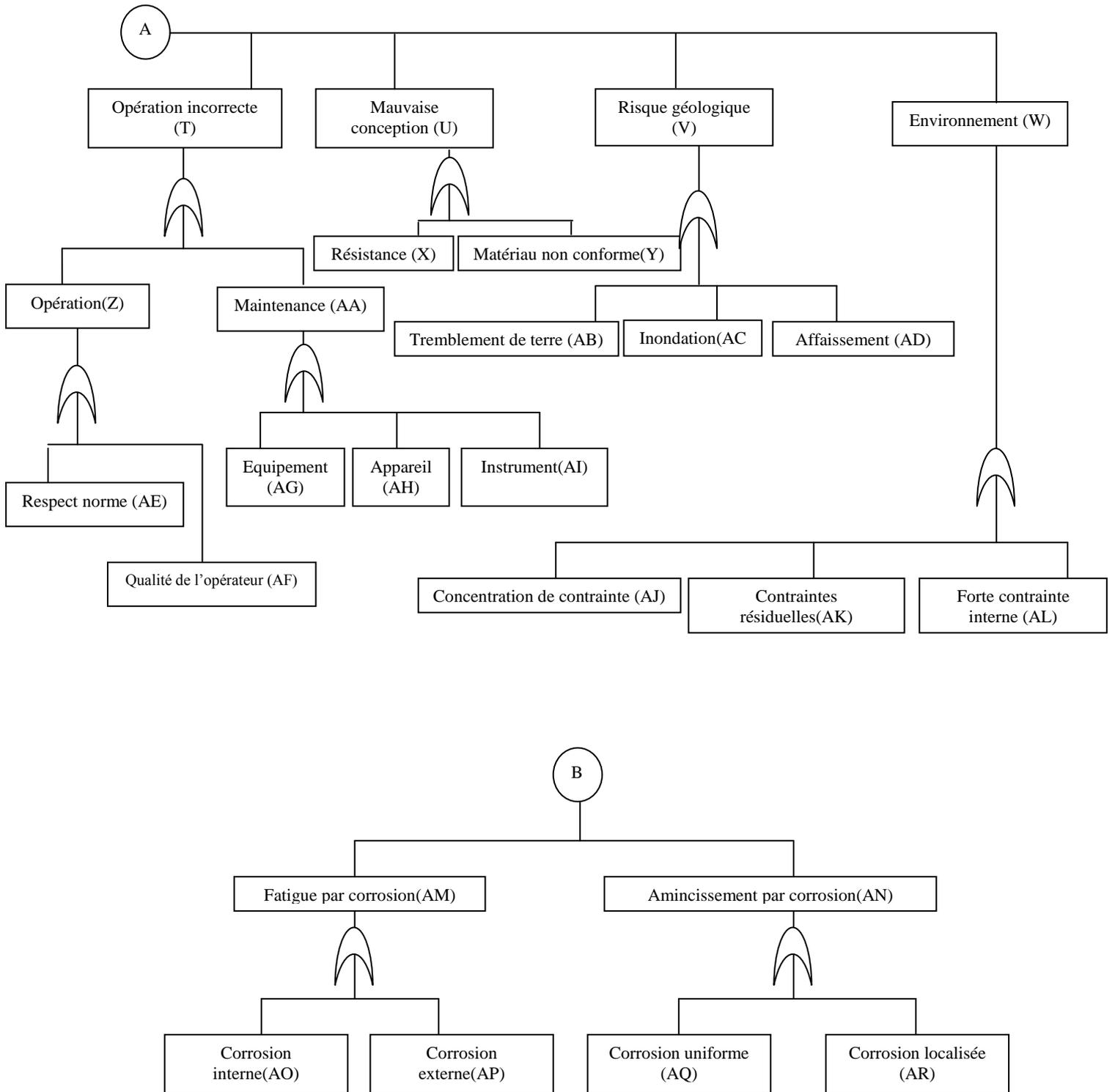


Figure IV.3: Schéma d'analyse par arbre de défaillance du pipeline

Cette analyse qualitative est suivie par une autre analyse quantitative, appelée aussi arbre de défaillance probabilisé.

IV.7.1 L'arbre de défaillances probabilisé :

Les probabilités des événements de base doivent être connues à l'avance, afin d'évaluer la probabilité de défaillance de l'événement indésirable. Dans cette étude, des opinions d'experts et de la théorie des ensembles flous seront utilisés pour obtenir les probabilités des événements de base [15]. Dans le tableau suivant, on trouve les valeurs de pondération donnée par des experts.

Constitution	Classification	Valeur
Titre	Directeur	5
	Vice-directeur	4
	Chef de service	3
	Contre maitre	2
	Ouvrier	1
Temps de service	>30 ans	5
	20-30ans	4
	10-20 ans	3
	5-10 ans	2
	<5ans	1
Niveau d'éducation	Bac+5	5
	Bac	4
	Lycée	3
	Moyen	2
	Primaire	1
Age	>50ans	4
	40-49ans	3
	30-39ans	2
	<30ans	1

Tableau IV.1 : Valeurs pondérées

Dans notre cas, on a pris l'avis d'un ensemble de personnes qui travaillent dans le secteur des pipelines (conception, installation, exploitation).

Les résultats trouvés sont fournis dans le tableau suivant :

N°	Titre	Temps de service (an)	Niveau	Age (an)	Valeur pondérée
1	Directeur	>30	Bac +5	>50	19
2	Chef de département	25	Bac+3	>50	16
3	Chef de service	16	Bac+5	42	14
4	Contre maitre	23	Lycée (TS)	46	12
5	Contre maitre	13	Lycée (TS)	37	10
6	Ouvrier	18	Moyen	39	08
7	Ouvrier	07	Lycée	32	08
8	Contre maitre	10	Lycée	36	09

Tableau IV.2 : Valeurs de pondération donnée par des experts

Remarque :

Les valeurs présentées dans le tableau ci-dessus correspondent à un seul défaut (la corrosion uniforme). Pour les autres défauts, nous présentons directement la probabilité de défaillance.

La valeur pondérée est calculée comme suit [15] :

Pour l'expert (i),

Valeur pondérée = Valeur du titre + Valeur du temps de service + Valeur du niveau + Valeur attribuée à l'âge.

Exemple, pour l'expert N°1 : la valeur du titre = 5, la valeur de l'expérience=5, la valeur du niveau=5, la valeur attribuée à l'âge = 4.

Donc la valeur de pondération de cet expert est de 19.

Dans l'étape suivante, nous devons convertir les termes linguistiques en nombres flous (fuzzy numbers), selon la fonction d'échelle présentée sur la figure IV.4 :

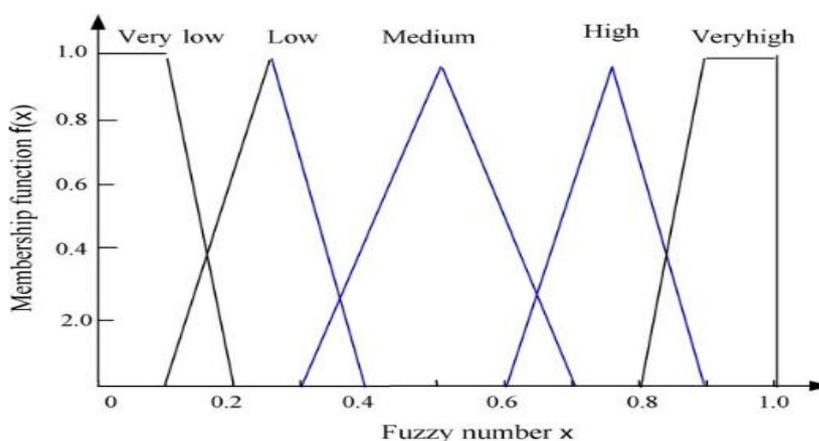


Figure IV. 4 : Schéma de fonction d'échelle [16]

$$f_{VH}(x) = \begin{cases} 0 & x < 0.8 \\ \frac{x-0.8}{0.1} & 0.8 < x < 0.9 \\ 1 & 0.9 < x < 1 \end{cases} \quad (IV. 1)$$

$$f_H(x) = \begin{cases} \frac{x-0.6}{0.15} & 0.6 < x < 0.75 \\ \frac{0.9-x}{0.15} & 0.75 < x < 0.9 \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (IV. 2)$$

$$f_M(x) = \begin{cases} \frac{x-0.3}{0.2} & 0.3 < x < 0.5 \\ \frac{0.7-x}{0.2} & 0.5 < x < 0.7 \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (IV. 3)$$

$$f_L(x) = \begin{cases} \frac{x-0.1}{0.2} & 0.1 < x < 0.25 \\ \frac{0.4-x}{0.15} & 0.25 < x < 0.4 \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (IV. 4)$$

Où, VH, H, M, L, sont respectivement, très haut (very high), haut (high), moyen (mean), bas (low).

Sur la figure IV.4, la valeur maximale pondérée correspond à 1, et par la règle de trois on trouve les différents nombres flous.

Delà, nous pouvons trouver la probabilité floue des valeurs (FPS), en appliquant l'équation suivante :

$$FPS = (0.4+1)/2 = 0.7.$$

Ensuite, nous cherchons la probabilité de défaillance de chaque événement dans l'arbre de défaillance par l'application de la formule :

$$FFP = \begin{cases} \frac{1}{10^k} & FPS \neq 0 \\ 0 & FPS = 0 \end{cases} \quad (IV. 5)$$

FFP (failure fuzzy probabilité) la probabilité de défaillance floue d'un événement, k c'est un facteur calculé par la formule :

$$k = \left[\frac{1-FPS}{FPS} \right]^{(\frac{1}{3})} \cdot (2,301) \quad (IV. 6)$$

L'événement	Probabilité de défaillance	L'événement	Probabilité de défaillance
A	$0,043. 10^{-4}$	W	$0,073. 10^{-4}$
B	$0,59. 10^{-4}$	X	$0,67. 10^{-4}$
C	$0,054. 10^{-5}$	Y	$0,094. 10^{-5}$
D	$0,52. 10^{-6}$	Z	$0,532. 10^{-6}$
E	$0,96. 10^{-5}$	AA	$0,36. 10^{-5}$
F	$0,11. 10^{-4}$	AB	$0,011. 10^{-4}$
G	$0,062. 10^{-5}$	AD	$0,072. 10^{-5}$
H	$0,09. 10^{-6}$	AC	$0,039. 10^{-6}$
I	$0,027. 10^{-5}$	AE	$0,017. 10^{-5}$
J	$0,031. 10^{-6}$	AF	$0,061. 10^{-6}$
K	$0,201. 10^{-5}$	AG	$0,29. 10^{-5}$
L	$0,721. 10^{-4}$	AH	$0,55. 10^{-4}$
M	$0,708. 10^{-6}$	AI	$0,78. 10^{-6}$
N	$0,065. 10^{-4}$	AJ	$0,065. 10^{-4}$
O	$0,75. 10^{-5}$	AK	$0,45. 10^{-4}$
P	$0,386. 10^{-6}$	AL	$0,38. 10^{-5}$
Q	$0,0265. 10^{-4}$	AM	$0,025. 10^{-4}$
R	$0,413. 10^{-5}$	AN	$0,013. 10^{-5}$
S	$0,102. 10^{-4}$	AO	$0,012. 10^{-4}$
T	$0,331. 10^{-4}$	AP	$0,023. 10^{-4}$
U	$0,108. 10^{-5}$	AQ	$0,18. 10^{-3}$
V	$0,029. 10^{-4}$	AR	$0,12. 10^{-3}$

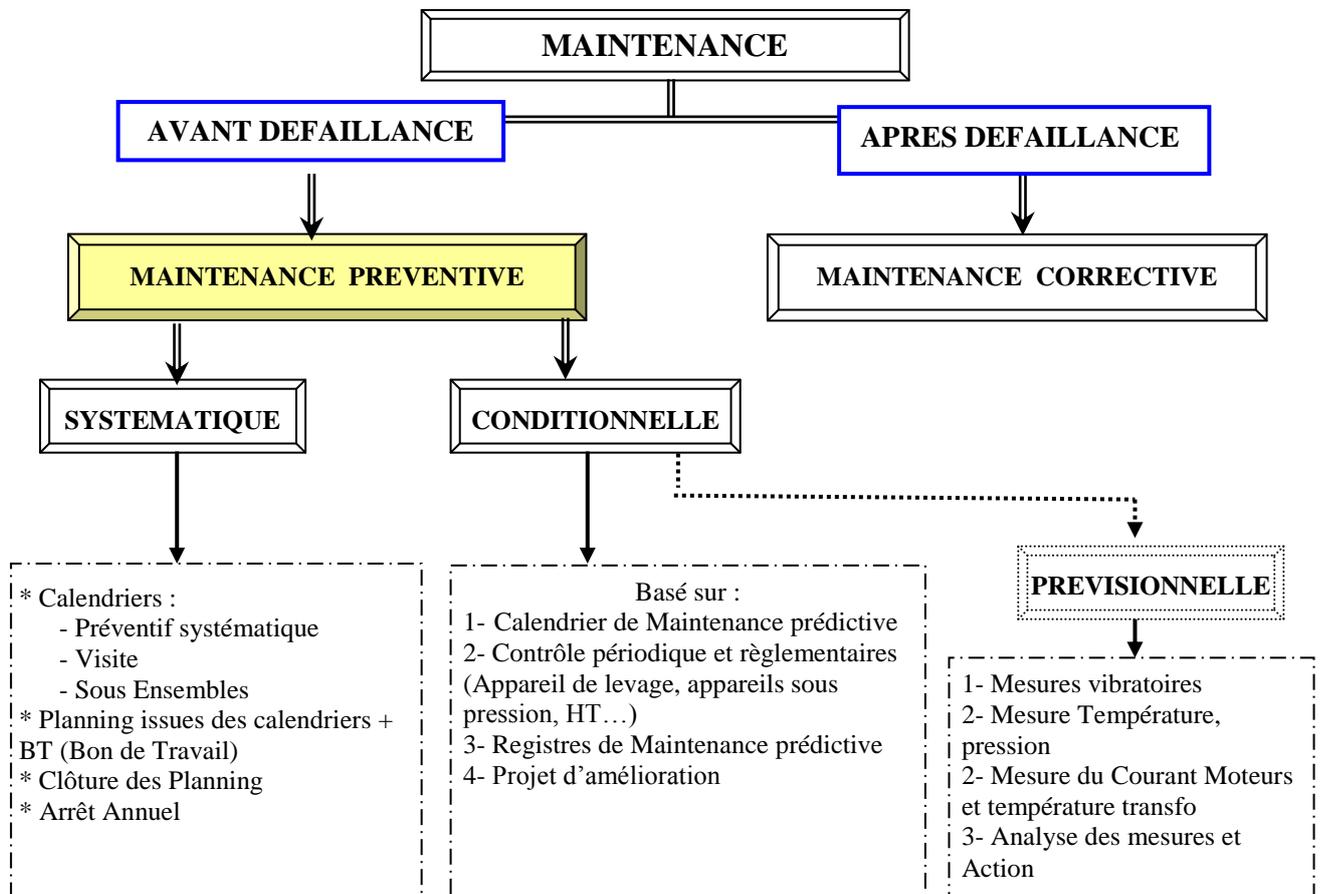
Tableau IV.3 : récapitulatif des probabilités de défaillances

On se basant sur les résultats de cette étude, nous pouvons distinguer que la probabilité de défaillance la plus importante est celle qui concerne l'événement « corrosion uniforme », suivie par l'événement « corrosion localisée ». Ces résultats nous incitent à développer le couplage mécano-fiabiliste tout en prenant en considération le modèle de la corrosion uniforme.

IV.8 Maintenance Préventive :

Ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu.

IV.8.1 Définition :



IV.8.2 Objectifs de la Maintenance Préventive :

- Augmenter la durée de vie des matériels
- Diminuer la probabilité des défaillances en service
- Améliorer la disponibilité de la machine
- Eviter les consommations anormales d'énergie, des lubrifiants
- Améliorer les conditions de travail du personnel
- Optimiser le budget de maintenance
- Supprimer les causes d'accidents graves

IV.8.3 Déroulement de la Maintenance préventive :**IV.8.3.1 Systématique :**

Elle se fait à partir d'un calendrier contenant le total des semaines travaillées durant toute l'année avec les différentes installations qui doivent être entretenues selon les normes d'entretien. Selon ce calendrier un planning des travaux programmés systématiquement ayant des périodicités différentes (J= journalières ; H= Hebdomadaires ; B= Bimensuelles ; T= trimestrielles ; S= Semestrielles et A= Annuelles) sera établi par le TZ accompagnés de BT. Ces documents seront en double (une copie pour l'exécution et une copie chez le TZ).

IV.8.3.2 Conditionnelle:

Ce sont les travaux dont la nécessité de leurs réalisations est apparue la cour des visites, inspections et contrôles. Ces dernières ainsi que les travaux des calendriers prédictives sont faites selon un calendrier établi par le TZ et son chef de cellule.

IV.8.3.3 Maintenance prévisionnelle :

Elle est subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de significations de la dégradation du bien.

TSS prévoit développé la maintenance préventive conditionnelle ou prédictive (prévisionnelle) par l'insertion de nouveaux outils de mesures et surveillances de quelques indicateurs (Pression, température, courant..) réalisés systématiquement par l'exécution ; la tendance des mesures sera analysée par les MTD qui définira en collaboration avec le service technique la périodicité et le temps de planification.

IV.9 Maintenance corrective :

La maintenance corrective regroupe l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement. Elle peut être palliative ou curative :

IV.9.1 Maintenance corrective palliative :

Regroupe les activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise.

IV.9.2 Maintenance corrective curative :

Regroupe les activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Ces activités du type réparation, modification ou amélioration doivent présenter un caractère permanent.

N.B. Dans le cas où la panne est survenue pendant le poste jour, le TZ assiste la maîtrise pour établir le BT, préparation PDR. Mais si la panne est survenue hors les heures de présence du TZ la maîtrise établit les BT et BSM.

IV.10 Grands Travaux et Arrêt Annuel de la TSS:**IV.10.1 Etude du bilan Arrêt N-1 :**

Pour la préparation de l'arrêt annuel, il sera tenu compte des réserves et des anomalies constatées lors de l'arrêt précédent à savoir:

- * Consignation des installations
- * Eclairage et nettoyage des zones de travail
- * Affectation des agents
- * Elimination des travaux pouvant se faire hors arrêt annuel

Préconisation de la PDR

IV.10.2 Listing des travaux :

Les travaux de l'arrêt annuel sont décidés sur la base de la classification des machines, l'analyse de l'exercice en matière bilan de production, analyse des arrêts, analyse des incidents et impact sur la sécurité et l'environnement ainsi que le programme de production prévisionnelle pour l'exercice N+1, à cela il faut inclure dans ce listing ;

- 1) Tous les travaux d'entretien préventif correspondant à cette périodicité.
- 2) Insertion des améliorations et modifications.

IV.10.3 Détermination des moyens humains et Matériels :

- 1) Nombre d'exécutant par atelier suivant la charge de travail à réaliser en interne
- 2) Charges de travail à réaliser par la sous-traitance et moyens
- 3) Outillage spécifique
- 4) PDR et consommable

Important :

- a) Faire ressortir tous les travaux conditionnés par la pièce de rechange (y compris sous traitance)
- b) Préparation et contrôle préalable de l'existence de la pièce de rechange
- c) Faire ressortir tous les travaux conditionnés par le nettoyage et l'éclairage.
- d) Listing des installations concernées par le nettoyage
- e) Liste des installations sélectionnées suivant l'importance des pannes (arrêt de production- perturbation du fonctionnement due aux arrêts répétitifs -durée des interventions trop importante)

IV.10.4 Affectation des Travaux :

IV.10.4.1 Travaux confiés à la maintenance de l'usine :

Charge de travail selon effectif de chaque atelier,

Réglage et mise au point des installations, préparation, démarrage. essais

Rq : A noter que les travaux sur les installations névralgiques sont toujours pris en charge par les moyens propres du service

IV.10.4.2 Travaux confiés aux services prestataires :

- * Etude du planning des travaux confiés aux services prestataires
- * Préparation dossier de travail (outillage, plan, notices, gammes opératoires liste PDR, etc.) afin de faciliter et préciser l'exécution des travaux
- * Pour les travaux confiés à la maintenance Usine AMA (AMM/ATCX, MRE...) le volume horaire doit être identifié pour la révision et le préventif des moteurs et des sous-ensembles (nombres de moteurs, désignation exacte de la réparation...)

IV.11 Remise des Plannings aux différents intervenants pour critique :

IV.11.1 Elaboration du Document final :

- * Pour la rédaction du document final, il sera tenu compte des remarques signalées par tous les intervenants
- * Coordination des travaux: améliorer la prise en charge de la consignation des installations, veiller à l'enclenchement des opérations, réparation et coordination des différentes équipes.

- * Planning de coupure DEL/PDE
- * Planning de nettoyage (fait par EXP suivant priorités fixées par la maintenance)

Planning linéaire des services prestataires ou sous-traitants

IV.11.2 Elaboration du Planning Général :

Reprendre dans un planning grand format l'ensemble des travaux retenus dans chaque zone.

Ce document, sera affiché au niveau des différents points de l'atelier. Après sa validation par le Département Maintenance. Il permet le suivi de l'état d'avancement des chantiers.

IV.11.3 Réunions de synthèse :

La présence des chefs de service EEM, TZ, chefs de secteurs, prestataires et exploitants est obligatoire.

IV.11.4 Planning De l'Arrêt Annuel :

Préparation Planning Grand Travaux :		N-5		N-4		N-3		N-2		N-1	
1	Etude du Bilan N-1										
2	Listing des travaux arrêt annuel										
3	Insertion des améliorations et modification dans le planning										
4	Détermination des moyens humains et matériels										
5	Listing des Travaux conditionnés par la PDR										
6	Ordre de priorité des travaux										
7	Affectation des travaux										
8	Remise des Planning aux différents intervenants pour critique et éventuelle approbation										
9	Elaboration du Document Final										
10	Elaboration du Planning Général										
11	Réunions de synthèse										

Tableau IV.4: Planning De l'Arrêt Annuel

IV.12 Conclusion :

Ce dernier chapitre est consacré à un prototype fonctionnel de système de maintenance, cet outil est basé sur l'arbre de défaillance et sur l'étude de probabilité de défaillance des pipelines, qui nous aide à connaître la probabilité de défaillance la plus importante qui est celle qui concerne l'événement « corrosion uniforme ». Pour cela, un arbre de défaillance a été élaboré. Un plan de maintenance et une procédure de travail sont proposés.

Conclusion générale

Conclusion générale :

La période de stage que j'ai effectué au sein de l'entreprise SIDER TSS (Tuberie Sans Soudure), situé dans le complexe sidérurgique d'EL HADJAR, a été en plus de son objet principal d'acquisition de connaissances supplémentaires mises à profit, nouer des relations cordiales avec les personnels employés au sein de cette entité en vue de se familiariser avec le type des relations humaines propres au monde du travail et le milieu industriel en particulier. Il s'agit aussi :

- De développer mes connaissances acquises à l'université ;
- De mieux mettre en pratique les capacités théoriques requises ;
- Connaître le contexte organisationnel ;
- De transférer mes connaissances d'une situation à l'autre et les adapter en conséquence.

De nombreux industriels travaillent sur l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, depuis la conception jusqu'à la mise en service (conception, fabrication exploitation) afin de contrôler les différentes sources de défaillance.

Dans ce travail, nous avons expliqué les essais du comportement des tubes, les phénomènes de dégradation, entre autres la corrosion et les processus de fabrication de ces tubes.

A partir des données collectées sur les épaisseurs, nous avons fait une étude statistique. Les résultats du test de khi-deux ont permis de proposer des cartes de contrôle (\bar{X} , R) effectués sur les tubes en acier destinés au transport des hydrocarbures, L'objectif de notre travail est l'analyse de conformité des tubes et de prévenir les prémisses de défaillances des machines d'où une minimisation des coûts de non qualité donc une meilleure compétitivité .

Référence

- [1] M. Marouane, E. Bakkali, M. Marouane, and E. Bakkali, “Modélisation des contrôles non-destructifs par ondes ultrasonores guidées. Application aux contrôles de canalisations To cite this version ;,” 2015.
- [2] C. Adam, “L’inspection des pipelines par racleurs instrumentés maintenance des pipelines.”
- [3] “Remerciements,” 2010.
- [4] “OPTIMISATION DES METHODES D’INSPECTION DES PIPES,” 2014.
- [5] O. Pipelines, M. Group, T. Coordinator, and C. B. May, “Methods of Prevention, Detection and Control of Spillages in European Oil Pipelines,” no. 1, 1998.
- [6] Z. Saad, “sur les pipelines La corrosion.”
- [7] C. Amsellem, J. F. Sanchez, R. Edery, and L. Martin, “Racleur instrumenté ultrasons pour contrôle en ligne des pipelines de diamètres 6’’/ 8’’,” *Journées cofrend*, pp. 2–9, 2011.
- [8] D. E. Lyon, “Guided-Waves Inspection System for the,” 2012.
- [9] “Cofrend - Visuel (VT).” [Online]. Available: <http://www.cofrend.com/contrôles-non-destructifs/methodes-de-contrôle/visuel-vt/>. [Accessed: 30-Apr-2017].
- [10] J. Dumont-fillon, “Contrôle non destructif (CND).”
- [11] “Contrôle non destructif du matériel tubulaire - Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel. Sous-commission Forage - Google Livres.” [Online]. Available: <https://books.google.dz/books?id=Z2q7IDrf8wEC&pg=PA34&lpg=PA34&dq=le+principe+de+banc+d%27épreuve+hydraulique+des+tubes&source=bl&ots=HFDVoiQXO9&sig=xG239yUzPKila-t2WmFCW5vjDS4&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjfwIWLm9nTAhXGVxQKHYYQ-BkkQ6AEILTAC#v=onepage&q=le%252>. [Accessed: 05-May-2017].
- [12] “Test du Khi 2,” pp. 2011–2012.
- [13] F. Babus, “Contrôle de processus industriels complexes et instables par le biais des techniques statistiques et automatiques,” 2010.
- [14] R. T. Clemen and R. L. Winkler, “Risk Analysis,” vol. 19, no. 2, 1999.

Référence

- [15] A. A. Baig and R. Ruzli, “Estimation of Failure Probability Using Fault Tree Analysis and Fuzzy Logic for CO2 Transmission,” *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, vol. 5, no. 1, pp. 26–30, 2014.
- [16] C.-L. Chen, Shu-Jen, Hwang, “Fuzzy Multiple Attribute Decision Making,” 1992.